

TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS IMPLEMENTASI SATURATED IRON - CORE
SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER PADA
JARING DISTRIBUSI PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN**

Muhammad Nur Fattah
NRP 2214105097

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**SATURATED IRON - CORE SUPERCONDUCTING FAULT
CURRENT LIMITER IMPLEMENTATION ANALYSIS AT PT.
PERTAMINA RU V BALIKPAPAN DISTRIBUTION NETWORKS**

Muhammad Nur Fattah
NRP 2214105097

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **Analisis Implementasi *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* pada Jaringan Distribusi PT. Pertamina RU V Balikpapan** adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2016

Muhammad Nur Fattah
NRP 2214105097

**ANALISIS IMPLEMENTASI SATURATED IRON –
CORE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT
LIMITER PADA JARING DISTRIBUSI
PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

**Dr. Ir. Margo Pujiatnara, M.T.
NIP. 196603181990101001**

**Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 198006032006041003**



KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, serta shalawat dan salam senantiasa terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi besar Nabi Muhammad SAW, karena atas ridho dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

“Analisis Implementasi Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter pada Jaring Distribusi PT. Pertamina RU V Balikpapan”

Tugas akhir ini diajukan guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 Teknik Elektro ITS. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Segenap keluarga besar terutama bapak Budi, ibu Anik dan adik saya Khoiri yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. dan Bapak Heri Suryoatmojo, S.T.,M.T.,Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
3. Seluruh rekan dan teman – teman LJ Ganjil 2014 terutama prodi Teknik Sistem Tenaga atas kerjasamanya selama 2,5 tahun ini. Penghuni Ketisno Keputih Perintis V.
4. Seluruh staf pengajar dan karyawan S1 Teknik Elektro - ITS, atas sarana dan prasarana yang diberikan.
5. Dan semua pihak–pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya atas segala kebaikan. Semoga Allah SWT memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapakan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Desember 2016

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISIS IMPLEMENTASI SATURATED IRON – CORE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER PADA JARING DISTRIBUSI PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

Nama Mahasiswa : Muhammad Nur Fattah
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Dosen Pembimbing : Heri Suryatomo, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRAK

Pada studi ini akan dilakukan analisis hubung singkat pada sistem distribusi PT. PERTAMINA RU V. Analisis hubung singkat dilakukan pada bus utama PT. PERTAMINA RU V dengan rating 6,6 kV dan melihat pada bus mana yang tidak mampu menahan besarnya arus gangguan karena adanya retrofit generator STG I-4 yang terhubung pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA RU V. Saat terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa *peak* pada bus 2HT dan 3HT, *rating bracing peak* pada bus sebesar 78,75 kA tidak mampu menahan arus gangguan sebesar 84,72 kA. Agar tidak terjadi kerusakan pada bus tersebut, maka diperlukan sebuah *device* pembatas arus gangguan yaitu *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL). SISFCL dipasang pada satu *incoming* yang terhubung ke bus 2HT dimana pada *incoming* ini menyumbang arus kontribusi. Setelah dipasang SISFCL, nilai arus gangguan pada bus 2HT dan 3HT berkurang dari 84,72 kA menjadi 73,12 kA. Arus gangguan pada *incoming* yang dipasang SISFCL juga akan berkurang sehingga *setting* koordinasi proteksi untuk rele arus lebih juga akan berubah untuk itu diperlukan *setting* ulang pada beberapa rele. *Setting* ulang ditunjukkan pada kurva TCC (*Time Current Curve*)

Kata Kunci : hubung singkat, SISFCL, koordinasi proteksi, rele arus lebih.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Saturated Iron - Core Superconducting Fault Current Limiter Implementation Analysis at PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN Distribution Networks

Name : Muhammad Nur Fattah
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Advisor II : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

In this study will be analyzed of short circuit at the distribution system PT. PERTAMINA RU V. Short circuit analysis performed on the main bus PT. PERTAMINA RU V with a rating of 6.6 kV and knowing where the buses are not able to withstand the magnitude of the fault current because of retrofit generator STG I-4 are connected to the electrical system of the PT. Pertamina RU V. During a peak of short circuit three-phase on the bus 2HT and 3HT, rating bracing peak on the bus at 78.75 kA unable to resist the fault current of 84.72 kA. To avoid damage to the bus, electrical distribution needed a device that fault current limiters Saturated Iron - Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL). SISFCL installed on the incoming from STG I-4 and connected to the bus 2HT where the incoming current of contributions. Once installed SISFCL, the value of the fault current at bus 2HT and 3HT reduced from 84.72 into 73.12 kA kA. Current disturbances in the incoming mounted SISFCL will also be reduced until setting relay coordination for overcurrent protection will also be changed so that the necessary settings in some relay. Resetting shown in the TCC (Time Current Curve).

Keyword : short circuit, SISFCL, coordination protection, overcurrent relay.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

JUDUL

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

LEMBAR PENGESAHAN

KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Tugas Akhir	3
1.5. Metodologi	3
1.6. Sistematika Penulisan	4

BAB II SISTEM PENGAMAN DAN SATURATED IRON – CORE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (SISFCL)

2.1. Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik	5
2.1.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa	7
2.1.2 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa	8
2.2. Sistem Pengaman Tenaga Listrik	9
2.2.1 Rele Arus Lebih (<i>Overcurrent Relay</i>)	10
2.2.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (<i>Invers Time</i>).....	11
2.2.1.2 Rele Arus Lebih Seketika (<i>Instantaneous</i>)	13
2.2.1.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (<i>Definite Tme</i>).....	13
2.3. <i>Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter</i> (SISFCL)	17
2.3.1 Bagian – Bagian Dari <i>Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter</i>	17
2.3.2 Cara Kerja Dari <i>Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter</i> (SISFCL)	20
2.3.3 Perbandingan SISFCL Dengan Pembatas Arus Lainnya	21

BAB III SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V

3.1 Metode Pengerjaan Tugas Akhir.....	23
3.2 Data Sistem Kelistrikan PT. PERTAMINA RU V	23
3.2.1. Data <i>Rating</i> Tegangan PT. PERTAMINA RU V	23
3.2.2. Data Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik	26
3.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik PT. PERTAMINA RU V	26
3.3.1. Data Transformers PT. PERTAMINA RU V	27
3.3.2. Data Beban PT. PERTAMINA RU V	28

BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS PADA PT. PERTAMINA RU V

4.1 Analisis Kemampuan Peralatan	29
4.2 Pengaturan dan Penerapan <i>Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter</i> (SISFCL).....	30
4.3 Analisis Kemampuan <i>Bus</i> Setelah Pemasangan SISFCL	34
4.4 Cara Kerja <i>Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter</i> (SISFCL).....	36
4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa.....	38
4.5.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi Pada PT. PERTAMINA RU V	39
4.5.2 Analisis Hubung Singkat.....	40
4.5.2.1 <i>Analisis Hubung Singkat Maksimum 4 cycle</i>	41
4.5.2.2 <i>Analisis Hubung Singkat Minimum 30 cycle</i>	41
4.5.3 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1	43
4.5.4 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2	51
4.5.5 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3	61
4.6 Data Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan SISFCL..	68

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan.....	71
5.2. Saran	72

DAFTAR PUSTAKA	73
-----------------------------	----

BIODATA PENULIS	75
------------------------------	----

LAMPIRAN	77
-----------------------	----

TABLE OF CONTENT

TITLE	
SHEET STATEMENT OF AUTHENTICITY	
APPROVEMENT SHEET	
PREFACE	i
ABSTRACT IN INDONESIA	iii
ABSTRACT IN ENGLISH	v
TABLE OF CONTENT	vii
ILLUSTRATION	ix
TABLES	xi

BAB I INTRODUCTION

1.1. Background	1
1.2. Problems	2
1.3. Problems Limitation	2
1.4. Purpose	3
1.5. Methodology	3
1.6. Systematic	4

BAB II PROTECTION SYSTEM AND SATURATED IRON – CORE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (SISFCL)

2.1. Short Circuit Interruption at Electrical Power System	5
2.1.1 Three Phase Short Circuit Interruption	7
2.1.2 Two Phase Short Circuit Interruption	8
2.2. Protection System at Electrical Power System	9
2.2.1 Overcurrent Relay	10
2.2.1.1 <i>Overcurrent Relay Invers Time</i>	11
2.2.1.2 <i>Overcurrent Relay Instantaneous</i>	13
2.2.1.3 <i>Overcurrent Relay Definite Time</i>	13
2.3. Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL)	17
2.3.1 Part of Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter	17
2.3.2 How Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL) Working	20
2.3.3 Difference of SISFCL with Other Fault Current Limiter Device	21

BAB III ELECTRICAL SYSTEM OF PT. PERTAMINA RU V

3.1	Method of Final Project.....	23
3.2	Electrical System of PT. PERTAMINA RU V	23
3.2.1.	Voltage Rating of PT. PERTAMINA RU V	23
3.2.2.	Generation System of Electrical Power	26
3.3	Electrical Distribution System of PT. PERTAMINA RU V	26
3.3.1.	Transformers's Data of PT. PERTAMINA RU V	27
3.3.2.	Load Capacity of PT. PERTAMINA RU V	28

BAB IV SIMULATION AND ANALYSIS AT PT. PERTAMINA RU V

4.1	Devices Capability Analysis	29
4.2	Setting and Application of Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL) on Plant.....	30
4.3	Bus Capability After SISFCL's Assembling on Plant.....	34
4.4	How Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL) Working.....	36
4.5	Coordination Protection of Overcurrent Relay at Phase Interrupting	38
4.5.1	Typical Choosing at PT. PERTAMINA RU V	39
4.5.2	Short Circuit Analysis.....	40
4.5.2.1	<i>4 Cycle Maximum Short Circuit Analysis</i>	41
4.5.2.2	<i>30 Cycle Minimum Short Circuit Analysis</i>	41
4.5.3	Overcurrent Relay Coordination Analysis of Typical 1	43
4.5.4	Overcurrent Relay Coordination Analysis of Typical 2	51
4.5.5	Overcurrent Relay Coordination Analysis of Typical 3	61
4.6	Difference Data of Before and After SISFCL Assembling at Plant	68

BAB V CLOSING

5.1.	Conclusion.....	71
5.2.	Recommendation	72
REFERENCES		73
BIOGRAPHY		75
ENCLOSURE		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar Rangkaian Hubung Singkat Tiga Fasa.....	8
Gambar 2.2	Gambar Rangkaian Hubung Singkat Duafasa	8
Gambar 2.3	Bagan Kerja Rele.....	9
Gambar 2.4	Skema Rele Arus Lebih	10
Gambar 2.5	Karakteristik Macam Kurva <i>Inverse</i> Berdasarkan IEEE 242-2001	12
Gambar 2.6	Kurva Karakteristik <i>Instantaneous</i>	13
Gambar 2.7	Kurva Karakteristik <i>Definite Time</i>	13
Gambar 2.8	Rele Pengaman pada Trafo	16
Gambar 2.9	Diagram Satu Garis Pembangkitan Maksimum.....	16
Gambar 2.10	Sistem SISFCL.....	18
Gambar 2.11	Skematik Rangkaian Aktif SISFCL.....	19
Gambar 2.12	Kurva Karakteristik Pembatas Arus pada Aktif SISFCL	21
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Metode Pengerjaan	23
Gambar 3.2	<i>Single Line Diagram</i> Eksisting PT. PERTAMINA RU V	24
Gambar 4.1	Nilai Arus Kontribusi Pada <i>Bus</i> 2HT Dan 3 HT Sebelum Pemasangan SISFCL	31
Gambar 4.2	Lokasi Pemasangan SISFCL Pada <i>Incoming</i> dari STG I-4 Yang Menghubungkan Pada <i>Bus</i> 2HT	32
Gambar 4.3	Posisi <i>Switch</i> Reaktor Sebagai Permodelan SISFCL Saat Keadaan Normal Dan Keadaan Gangguan pada Simulasi	34
Gambar 4.4	Nilai Arus Kontribusi Pada <i>Bus</i> 2HT Sesudah Pemasangan SISFCL	35
Gambar 4.5	Gelombang Arus Saat Keadaan Gangguan pada <i>Bus</i> 2HT.....	36
Gambar 4.6	Analisis Cara Kerja SISFCL Saat Membatasi Arus Gangguan.....	37
Gambar 4.7	Skema Koordinasi Proteksi pada PT. PERTAMINA RU V	40
Gambar 4.8	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 1	43
Gambar 4.9	Gambar Kurva TCC Eksisting Tipikal 1.....	45
Gambar 4.10	Gambar Kurva TCC <i>Resetting</i> Tipikal 1.....	50
Gambar 4.11	<i>Single Line Diagram</i> Tipikal 2	51
Gambar 4.12	Gambar Kurva TCC Eksisting Tipikal 2.....	53

Gambar 4.13 Gambar Kurva TCC *Resetting* Tipikal 2 61

Gambar 4.14 *Single Line Diagram* Tipikal 3 62

Gambar 4.15 Gambar Kurva TCC Eksisting Tipikal 3 63

Gambar 4.16 Gambar Kurva TCC *Resetting* Tipikal 3 67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data Nilai Koefisien Rele ALSTOM P142 (IEC <i>curve</i>)....	15
Tabel 3.1	Pembangkit Tenaga Listrik PT. PERTAMINA RU V	26
Tabel 3.2	Data Transformator PT. PERTAMINA RU V	27
Tabel 3.3	Tabel Data <i>Tie</i> Transformator pada PT. PERTAMINA RU V.....	28
Tabel 3.4	Tabel Data Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, dan <i>Demand</i> pada PT. PERTAMINA RU V.....	29
Tabel 4.1	Data Perbandingan Kemampuan Bus Utama 11 kV dengan I_{SC} Maksimum 3 Fasa pada Kondisi $\frac{1}{2}$ Cycle	30
Tabel 4.2	Data Perbandingan Kemampuan Bus 2HT dan 3HT dengan I_{SC} Maksimum 3 Fasa pada Kondisi $\frac{1}{2}$ Cycle Sebelum dan Sesudah Dipasang SISFCL.....	34
Tabel 4.3	Data Arus Kontribusi Hubung Singkat Pembangkitan Maksimum 4 <i>Cycle</i> pada Rele	41
Tabel 4.4	Data arus kontribusi hubung singkat pembangkitan minimum 30 <i>cycle</i> pada rele	42
Tabel 4.5	Data Eksisting Rele Tipikal 1	44
Tabel 4.6	Data <i>Resetting</i> Rele Tipikal 1	49
Tabel 4.7	Data Eksisting Rele Tipikal 2	52
Tabel 4.8	Data <i>Resetting</i> Rele Tipikal 2	59
Tabel 4.9	Data Eksisting Rele Tipikal 3	62
Tabel 4.10	Data <i>Resetting</i> Rele Tipikal 3	66
Tabel 4.11	Perbandingan Arus Kontribusi Hubung Singkat Maksimum 3 Fasa Kondisi $\frac{1}{2}$ Cycle Pada <i>Bus</i> 2HT Tanpa Dan Dengan SISFCL	68
Tabel 4.12	Perbandingan Setting Rele Arus Lebih Sebelum Dan Sesudah Pemasangan SISFCL Pada Koordinasi Tipikal 1.....	68
Tabel 4.13	Perbandingan Setting Rele Arus Lebih Sebelum Dan Sesudah Pemasangan SISFCL Pada Koordinasi Tipikal 2.....	69
Tabel 4.14	Perbandingan Setting Rele Arus Lebih Sebelum Dan Sesudah Pemasangan SISFCL Pada Koordinasi Tipikal 3.....	70

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. PERTAMINA RU (Refinery Unit) V Balikpapan merupakan salah satu unit dari sektor usaha hilir yaitu pengolahan minyak yang dimiliki oleh PT. PERTAMINA (Persero). Hingga saat ini perusahaan memiliki 2 (dua) unit kilang dengan kapasitas produksi $260.000 \pm$ barrel/hari. Memiliki 9 (sembilan) unit generator STG yang tersebar di kedua unit kilang yaitu 5 (lima) generator di Kilang I, sedangkan 4 (empat) generator pada Kilang II untuk menunjang produktifitas produksi minyak.

Seiring dengan berjalannya waktu operasional yang sudah cukup lama pada perusahaan ini, beberapa generator pada Kilang I tidak luput dari masalah penurunan performa, penurunan fungsi, tingginya frekuensi kerusakan hingga potensi hilangnya efisiensi dan akhirnya sebanyak 3 unit generator pada Kilang I (satu) di nonaktifkan, sehingga berpengaruh pada menurunnya kapasitas produksi perusahaan. Pada tahun 2016 program pemerintah republik indonesia gencar untuk meningkatkan produksi minyak. Oleh karena itu, PT. PERTAMINA RU V berupaya untuk merevitalisasi dan meningkatkan kapasitas 6 unit kilang pengolahan minyak dalam proyek *refinery development master plan* Kilang Balikpapan yang ditargetkan selesai pada 2019[1]. Untuk meningkatkan keandalan dan kapasitas produksi minyak pada Kilang I dengan melakukan retrofit di salah satu unit pembangkit *steam turbine generator* (STG I-4) sebesar 1x9 MW. Berdasarkan kamus Oxford, retrofit diartikan : *to install (a new a modified parts or equipment) in something previously manufactured or constructed* artinya untuk memasang merubah atau memodifikasi suku cadang baru atau peralatan baru pada sesuatu yang sebelumnya tidak pernah dibuat atau dibangun [2].

Tetapi dengan banyaknya generator pada sistem dan juga beban yang terpasang, memberikan beberapa dampak pada pengaman sistem. Salah satu dampak dari banyaknya generator pada sistem yaitu membuat kenaikan level arus gangguan yang semakin tinggi. Dimana kenaikan tingkat arus gangguan tersebut bisa melampaui batas kemampuan peralatan yang ada pada sistem sehingga arus gangguan dapat merusak peralatan.

Arus gangguan bisa berasal dari dalam atau luar sistem. Salah satu jenis gangguan dalam sistem tenaga listrik yaitu gangguan hubung singkat. Gangguan ini sering terjadi pada sistem tenaga listrik dan sering menyebabkan rusaknya peralatan akibat nilai arus gangguan yang diakibatkan sangat tinggi.

Agar arus gangguan tidak sampai menyebabkan penggantian peralatan pada sistem, maka arus gangguan hubung singkat harus diminimalisir sehingga nilainya dibawah dari level kemampuan peralatan yang ada. Sehingga diperlukan salah satu cara untuk mengurangi besarnya arus gangguan hubung singkat yaitu dengan memasang *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) pada sistem. Arus gangguan akan diredam dengan impedansi dari inti SISFCL sehingga tidak akan merusak peralatan. Pemasangan SISFCL akan mempengaruhi koordinasi proteksi pada rele arus lebih, sehingga perlu dilakukan koordinasi ulang agar bisa mengetahui apakah sistem pengamanan akan bekerja dengan baik atau tidak.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana prinsip kerja *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) meredam arus gangguan.
2. Bagaimana pengaturan *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) yang tepat untuk membatasi arus gangguan hubung singkat yang tinggi pada PT. PERTAMINA RU V .
3. Bagaimana koordinasi proteksi rele arus lebih setelah pemasangan *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) pada PT. PERTAMINA RU V.

1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Gangguan yang akan dianalisa yaitu gangguan hubung singkat.
2. Pemasangan dan pengaturan *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) untuk membatasi arus hubung singkat tertinggi pada busbar dengan rating kritis.
3. Analisis penggunaan SISFCL pada saat ada gangguan pada plant.
4. Koordinasi proteksi yang dilakukan yaitu koordinasi proteksi rele arus lebih akibat pemasangan SISFCL.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui prinsip kerja dari *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL).
2. Mengetahui letak pemasangan *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) yang tepat pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA RU V Balikpapan.
3. Mengetahui pengaturan yang tepat pada *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) agar bekerja secara maksimal meminimalisir arus hubung singkat.
4. Mengetahui koordinasi proteksi pada rele arus lebih sesudah sistem dipasang *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL).

1.5 Metodologi

Metode yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan teori penunjang berupa buku, jurnal atau paper yang berhubungan dengan tugas akhir. Teori – teori penunjang seperti studi analisis sistem tenaga, pengaman sistem tenaga listrik serta *Saturated Iron – Core superconducting fault current limiter* (SISFCL).
2. Pengumpulan Data
Pengumpulan data pada PT. PERTAMINA RU V yaitu pengumpulan data peralatan dan sistem kelistrikan yang dibutuhkan dalam analisis tugas akhir yaitu sebagai berikut : *single line diagram*, *rating* tegangan pada sistem, sistem pembangkitan atau generator, data tranformator, sistem pentanahan peralatan, dan spesifikasi motor.
3. Simulasi Sistem Kelistrikan
Dengan data peralatan dan permodelan sistem kelistrikan yang sudah diperoleh akan disimulasikan.
4. Analisis Data Arus Hubung Singkat
Analisis yang dilakukan yaitu analisis hubung singkat untuk menentukan dimana *busbar* yang mengalami arus hubung singkat terbesar dan apakah *busbar* tersebut mampu menahan arus hubung singkat atau tidak. Sehingga dari analisis diketahui *busbar* tersebut perlu diberikan SISFCL atau tidak untuk membatasi arus hubung singkat yang terjadi. Dilakukan analisis sebelum dan sesudah *busbar*

dipasang SISFCL serta analisis efek pemasangan SISFCL pada koordinasi proteksi rele arus lebih.

5. Kesimpulan dan Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Dari analisis pada permodelan sistem kelistrikan plant, maka akan diperoleh kesimpulan pemasangan SISFCL pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA RU V dan pengaruhnya terhadap arus hubung singkat, serta koordinasi proteksi rele arus lebih yang tepat pada sistem. Selanjutnya akan dibuat laporan tugas akhir tentang hasil yang diperoleh selama mengerjakan tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam Tugas Akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB I : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang penjelasan mengenai latar belakang, permasalahan dan batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika pembahasan, dan relevansi.

BAB II : Dasar Teori

Bab ini secara garis besar membahas tentang arus hubung singkat, penjelasan mengenai sistem pengamanan, dan juga pembatas arus atau SISFCL.

BAB III : Sistem Kelistrikan PT. PERTAMINA RU V .

Bab ini membahas sistem kelistrikan dan spesifikasi beban pada PT. PERTAMINA RU V .

BAB IV : Simulasi dan Analisis

Bab ini membahas data hasil arus gangguan hubung singkat pada *bus* yang disimulasikan dan menempatkan *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL)* pada *bus* yang memiliki arus gangguan tinggi. Setelah itu menentukan koordinasi rele arus lebih setelah pemasangan SISFCL.

BAB V : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan pada bab IV.

BAB II

SISTEM PENGAMAN DAN SATURATED IRON – CORE SUPERCONDUCTING FAULT CURRENT LIMITER (SISFCL)

2.1 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan – gangguan yang menyebabkan terganggunya pelayanan tenaga listrik ke konsumen. Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal atau arus yang mengalir dari satu konduktor ke *ground* atau ke konduktor lainnya karena hubungan abnormal (termasuk arching) diantara keduanya. Beberapa penyebab gangguan pada sistem tenaga listrik yaitu :

- a) Adanya hewan dalam peralatan.
- b) *Overheating* pada peralatan.
- c) Tegangan Surja dan factor alam lainnya.
- d) Kerusakan isolasi karena usia.
- e) Tegangan atau tekanan mekanis pada peralatan.
- f) Akumulasi kelembaban dan kontaminan.
- g) Pemasangan yang kurang baik serta Kesalahan atau kelalaian dari pada manusia
- h) Kerusakan material seperti isolator pecah.
- i) Dan penyebab lainnya.

Dilihat dari sifatnya, gangguan dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Gangguan sementara atau temporer

Bersifat sementara atau temporer jika gangguan akan hilang dengan sendirinya dan pemutus tenaga akan bekerja dengan normal setelah dimasukkan kembali atau ditutup. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya atau dengan bekerjanya alat pengaman dapat berubah menjadi gangguan permanen.

2. Gangguan permanen

Bersifat permanen apabila gangguan tetap ada meskipun pemutus tenaga dibuka. Gangguan harus dihilangkan setelah dilakukan perbaikan di titik gangguan dan setelah itu pemutus tenaga bisa dimasukkan kembali.

Gangguan hubung singkat adalah gangguan *shunt* yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi dua macam, yaitu :

1. Gangguan Simetris

Gangguan simetris atau biasa disebut gangguan seimbang yaitu gangguan yang terjadi pada semua fasa sistem tenaga listrik, sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari :

- a. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa.
- b. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa Ke Tanah.

2. Gangguan Tidak Simetris

Gangguan tidak simetris atau gangguan tidak seimbang yaitu gangguan yang menyebabkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang. Gangguan ini sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Yang termasuk dalam gangguan tidak simetris yaitu :

- a. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah.
- b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa.
- c. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa Ke Tanah[1].

Beberapa efek gangguan hubung singkat yaitu seperti arus hubung singkat yang besar menyebabkan pemanasan sehingga menimbulkan kebakaran atau ledakan, terputusnya aliran daya, terjadinya busur api dan penurunan umur peralatan. Besarnya arus hubung singkat tergantung pada reaktansi sumber yang menghasilkan hubung singkat. Sumber arus gangguan berasal dari generator, motor sinkron, motor induksi dan *utility* atau *grid*. Ketika ada gangguan, maka arus dari sumber tersebut akan mengalir menuju titik gangguan. Peralatan yang berkontribusi memberikan arus saat gangguan yaitu :

a. Generator

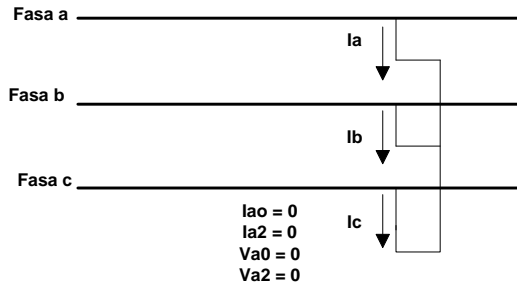
Tegangan yang dihasilkan generator menimbulkan adanya arus hubung singkat yang besar yang mengalir menuju titik gangguan. Aliran arus ini dibatasi oleh nilai reaktansi generator dan reaktansi rangkaian antara generator dan titik gangguan. Reaktansi tersebut yaitu :

- X''_d = reaktansi subtransient, adalah nilai reaktansi untuk menentukan arus hubung singkat selama cycle pertama setelah hubung singkat terjadi, waktunya sekitar 0,05 – 0,1 detik.

- $X'd$ = reaktansi transient, adalah nilai reaktansi untuk menentukan arus hubung singkat selama beberapa cycle setelah hubung singkat terjadi, waktunya sekitar 0,2 – 2 detik.
 - X_d = reaktansi sinkron, adalah nilai reaktansi untuk menentukan arus hubung singkat setelah keadaan steady state dicapai.
- b. Motor Sinkron
- Motor sinkron sama seperti generator, ketika terjadi gangguan dan tegangan sistem menjadi turun, dengan nilai yang sangat rendah maka motor sinkron berhenti mengambil daya dari sistem untuk memutar beban dan melambat. Tetapi inersia beban mencegah motor untuk melambat sehingga motor bekerja sebagai generator yang menyuplai arus hubung singkat. Motor sinkron menyumbang arus kontribusi hanya saat subtransien.
- c. Motor Induksi
- Kerja generator yang diakibatkan oleh adanya inersia beban dan rotor mengendalikan motor setelah terjadinya gangguan. Pada motor induksi, adanya flux medan dihasilkan oleh induksi dari stator dan bukan dari belitan medan dc. Karena flux hilang dengan cepat setelah gangguan, kontribusi motor induksi menurun dengan cepat dan mati sepenuhnya setelah beberapa cycle. Pada motor induksi tidak ada arus kontribusi pada saat steady state dan hanya terdapat nilai reaktansi subtransien atau X''_d .

2.1.1 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa [3]

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam gangguan simetris, dimana arus maupun tegangan tiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. sehingga pada sistem hanya dapat dianalisa dengan komponen urutan positif saja. Gangguan ini menghasilkan arus gangguan terbesar atau maksimal.



Gambar 2.1 Gambar rangkaian hubung singkat tiga fasa [3].

Untuk mencari nilai arus hubung singkat tiga fasa yaitu :

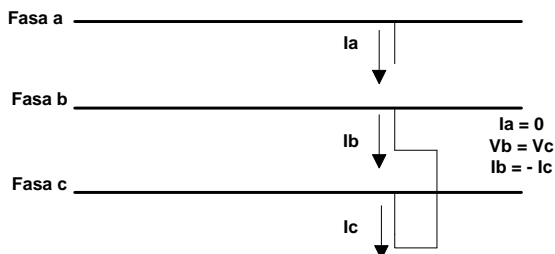
$$I_a = I_b = I_c = I_{HS\ 3\phi} = \frac{V_{LN}}{Z_f} \quad (2.1)$$

Dimana :

- $I_{HS\ 3\phi}$: arus gangguan hubung singkat tiga fasa
- V_{LN} : tegangan *line to netral* di titik gangguan
- Z_f : impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

2.1.2 Gangguan Hubung Singkat Dua fasa

Pada gangguan hubung singkat dua fasa atau fasa ke fasa yaitu gangguan tidak simetris, arus saluran tidak mengandung komponen urutan nol, hanya ada rangkaian urutan positif dan negatif dikarenakan tidak ada gangguan yang terhubung ke tanah. Gangguan ini menghasilkan arus gangguan terkecil atau minimum.



Gambar 2.2 Gambar rangkaian hubung singkat dua fasa [3]

Untuk mencari nilai arus hubung singkat dua fasa yaitu :

$$I_a = I_{HS\ 2\phi} = \frac{V_{LL}}{Z_1 + Z_2} = \frac{\sqrt{3} V_{Ln}}{Z_1 + Z_2} \quad (2.2)$$

Dimana :

$I_{HS\ 2\phi}$: arus gangguan hubung singkat dua fasa

V_{Ln} : tegangan *line to netral* di titik gangguan

V_{LL} : tegangan *line to line* di titik gangguan

Z_1 : impedansi urutan positif dilihat dari titik gangguan

Z_2 : impedansi urutan negatif dilihat dari titik gangguan

2.2 Sistem Pengaman Tenaga Listrik

Sistem pengaman tenaga listrik yaitu sistem pengaman yang dilakukan terhadap peralatan – peralatan listrik yang terpasang pada sistem tenaga listrik misalnya generator, transformer, dan lain – lain terhadap kondisi operasi abnormal dari sistem itu sendiri. Yang dimaksud kondisi abnormal seperti gangguan hubung singkat, gangguan tegangan lebih, gangguan beban lebih dan lain – lain. Fungsi sistem pengaman yaitu antara lain untuk memisahkan bagian jaring yang terganggu dengan bagian yang normal, mengidentifikasi gangguan, menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan, melokalisir daerah yang terganggu sehingga daerah yang terganggu menjadi semakin kecil serta menjaga keandalan dalam kontinuitas pelayanan tenaga listrik ke pelanggan dan lain sebagainya.

Salah satu komponen utama sistem pengaman pada sistem tenaga listrik yaitu rele pengaman. Rele pengaman adalah peralatan listrik yang dirancang untuk memulai pemisahan bagian sistem tenaga listrik atau untuk mengoperasikan signal bila terjadi gangguan.



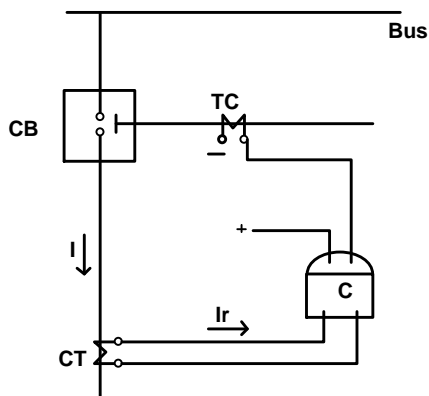
Gambar 2.3 Bagan Kerja Rele

Rele pengaman terdiri dari sebuah elemen operasi dan kontak. Elemen operasi akan menerima masukan dari trafo arus atau trafo tegangan. Keadaan keluaran rele adalah posisi kontak menutup dan ditahan. Rele akan memberikan sinyal kepada pemutus tenaga agar

membuka dan mengisolasi sistem tenaga lain dari gangguan yang terjadi jika keadaan keluaran kontak rele menutup [3]. Rele pengaman mempunyai beberapa syarat untuk mengidentifikasi gangguan yaitu : Kecepatan Bereaksi, Kepekaan Operasi (*sensitivity*), Keandalan (*Reliability*), Selektif (*Selectivity*), Ekonomis.

2.2.1 Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Rele arus lebih adalah sebuah peralatan pengaman yang akan mendeteksi kenaikan besaran arus yang melalui suatu jaring dengan bantuan trafo arus. Jika arus pada jaring melebihi parameter arus pada *setting* rele, maka rele akan mengirim sinyal trip kepada pemutus tenaga agar segera membuka. Rele arus lebih termasuk rele yang sederhana, murah dan mudah untuk *setting*nya.



Gambar 2.4 Skema rele Arus Lebih

Keterangan gambar diatas :

CB = Circuit Breaker

TC = Trip Coil CB

I = Arus yang mengalir pada saluran yang diamankan

CT = Trafo Arus

I_r = Arus yang mengalir pada rele

C = Rele arus lebih

Penggunaan rele arus lebih seperti untuk pengaman utama pada sistem distribusi serta sebagai pegaman cadangan pada peralatan utama

sistem tenaga seperti generator, transformator daya, motor dengan kapasitas daya besar dan saluran transmisi tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi. Selain itu rele arus lebih juga bisa sebagai pengaman utama pada peralatan sistem tenaga dalam kapasitas daya yang kecil. Rele arus lebih berfungsi mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat fasa ke tanah dan beberapa hal digunakan sebagai pengaman beban lebih. Rele arus lebih akan bekerja jika memenuhi syarat :

$$|I_f| > |I_p| \text{ rele bekerja} \quad (2.3)$$

$$|I_f| < |I_p| \text{ rele tidak bekerja} \quad (2.4)$$

Dimana :

I_f : arus gangguan yang dinyatakan terhadap gulungan sekunder trafo arus

I_p : arus *pick up* sebagai parameter harga arus maksimal yang dinyatakan menurut gulungan sekunder trafo arus [3].

Rele arus lebih mempunyai beberapa kurva karakteristik sebagai berikut :

2.2.1.1 Rele Arus Lebih Waktu Terbalik (*Invers Time*)[5]

Dimana rele jenis ini mempunyai karakteristik waktu operasi yang berbanding terbalik terhadap arus gangguan. Semakin besar arus gangguan, semakin kecil waktu untuk rele memberikan sinyal agar pemutus tenaga membuka. Semakin kecil arus gangguan, maka waktu rele untuk mengirimkan sinyal ke pemutus tenaga akan semakin lama. Rele akan memberikan sinyal ke pemutus tenaga apabila arus gangguan yang mengalir melebihi *setting* arus pada rele. Karakteristik waktu *inverse* digolongkan menjadi lima karakteristik waktu yaitu : *long time inverse*, *standart inverse*, *very inverse*, *short time inverse*, *extremely inverse*.

a. *Long Time Inverse*

Karakteristik jenis *long time* memiliki waktu kerja yang cukup lama pada *setting* arus yang sama. Biasanya karakteristik ini digunakan untuk pengaman tahanan pentanahan trafo dan cadangan pengaman gangguan tanah.

b. *Normal Inverse*

Karakteristik ini digunakan sebagai karakteristik standart untuk koordinasi antar rele.

c. *Very Inverse*

Karakteristik *very inverse* memiliki kurva lebih curam dibanding kurva *inverse*. Karakteristik ini digunakan untuk koordinasi rele dengan perbedaan kapasitas arus gangguan di antara lokasi rele.

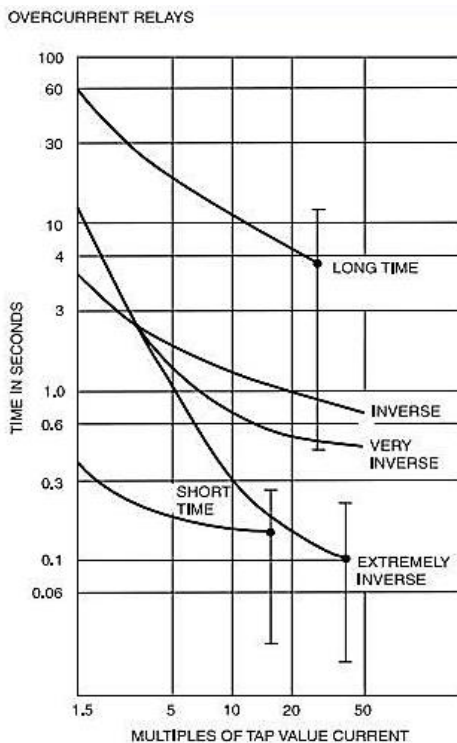
d. *Short Time Inverse*

Karakteristik *short time* memiliki waktu trip yang sangat cepat, sehingga digunakan sistem yang membutuhkan waktu pemutus gangguan sangat cepat tanpa koordinasi dengan rele lain.

e. *Extremely Inverse*

Karakteristik ini lebih curam dibandingkan karakteristik *very inverse*, digunakan untuk koordinasi dengan fuse di sisi bawah rele.

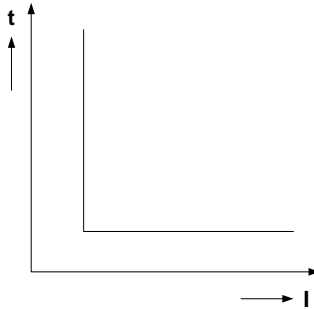
Untuk kurva karakteristiknya bisa dilihat seperti dibawah ini :



Gambar 2.5 Karakteristik macam kurva *inverse* berdasarkan IEEE 242-2001

2.2.1.2 Rele Arus Lebih Seketika (*Instantaneous*)

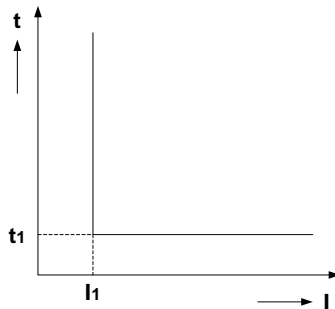
Karakteristik rele jenis ini adalah karakteristik rele yang paling sederhana dimana jangka waktu kerja rele mulai dari *pick up* sampai rele bekerja sangat singkat tanpa adanya waktu tunda rele. Karakteristik rele arus lebih seketika memiliki waktu operasi 0,5 *cycle* sampai 2 *cycle* atau antara 0,01-0,04 detik [5]. Rele akan trip dengan segera ketika nilai arus gangguan melebihi batas nilai operasi rele yang sudah ditetapkan.



Gambar 2.6 Kurva Karakteristik *instantaneous*

2.2.1.3 Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time*)

Rele dengan karakteristik ini bekerja tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan rele. Berapapun nilai level arus gangguan diatas nilai batas rele yang terjadi maka rele akan mengirimkan sinyal agar pemutus tenaga untuk *open*.



Gambar 2.7 Kurva karakteristik *definite time*

Menurut standart IEC 255-3 dan BS 142, karakteristik operasi rele invers untuk *standart inverse*, *very inverse*, *extreemely inverse*, *long inverse* yaitu sebagai berikut :

a. *Standart inverse* :

$$t = \frac{0,14 \times tD}{I^{0,02}-1} \quad (2.5)$$

b. *Very inverse* :

$$t = \frac{13,5 \times tD}{I-1} \quad (2.6)$$

c. *Extremly Inverse* :

$$t = \frac{80 \times tD}{(I^2 - 1)} \quad (2.7)$$

d. *Long Time Inverse* :

$$t = \frac{120 \times tD}{(I-1)} \quad (2.8)$$

Dimana :

t = waktu operasi

$$I = \frac{I_f}{I_{set}} \quad (2.9)$$

I_f = I gangguan

I_{set} = arus aktual pada rele

tD = time multiple setting atau time dial

Selain menggunakan rumus dari *standart british* dan IEC, untuk menghitung nilai besaran pada rele invers juga menggunakan rumus dari jenis rele yang dipakai pada *plant*, salah satunya yaitu ALSTOM P142. Rumusnya sebagai berikut :

$$t = \left[\frac{A}{(I^B - 1)} \right] \times tD \quad (2.10)$$

Dimana :

t = waktu operasi

tD = time dial

A,B = besaran yang di tentukan berdasarkan jenis rele

$$I = \frac{I_f}{I_{set}}$$

Beberapa besaran dari rele ALSTOM P142 yang digunakan dalam perhitungan disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 2.1 Data nilai Koefisien rele ALSTOM P142 (IEC curve)

Koefisien	Extremely Inverse	Very Inverse	Standard Inverse
A	80	13.5	0,14
B	2	1	0.02

Rele arus lebih tidak boleh bekerja pada beban maksimum dan arus *setting* harus lebih besar dari arus beban maksimum. Batas penyetelan nominal rele menurut Standart British BS 142-1983 yaitu antara $1,05 - 1,3 I_{set}$. Digunakan konstanta $1,05 I_{set}$ karena lebih aman dan memenuhi permintaan asuransi untuk perhitungan *lowset* rele serta batas atas memakai standar ANSI yaitu 1,4. Sehingga untuk perhitungan *lowset* rele yaitu :

$$1,05 I_{Fl} < I_{pp} < 1,4 I_{Fl} \quad (2.11)$$

Pada *setting* rele arus lebih juga memperhatikan batas maksimum *setting* rele yaitu:

$$I_{Fl} < I_{pp} < I_{sc \min} \quad (2.12)$$

Dimana :

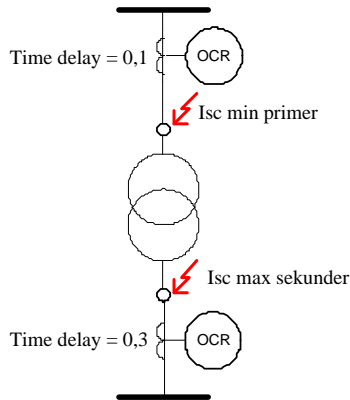
- I_{Fl} = arus beban penuh atau maksimum
- I_{pp} = arus *pick up* pada sisi primer trafo arus (CT)
- $I_{sc \min}$ = arus hubung singkat 2 fasa pada pembangkitan minimum

Karena $I_{sc \min}$ yang terjadi berada pada ujung saluran dan berasal dari arus hubung singkat 3 fasa yang pada pembangkitan minimum yang dikalikan dengan 0,866. Maka dari konsep tersebut syarat *setting* arus pada rele arus lebih atau *setting highset* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$I_{set} < 0,8 I_{sc \min} \quad (2.13)$$

Untuk *setting* pengaman *feeder* yang dipisahkan oleh sebuah trafo, pengaturan *time delay* pada rele pengaman primer trafo kembali ke 0,1 detik, dengan syarat :

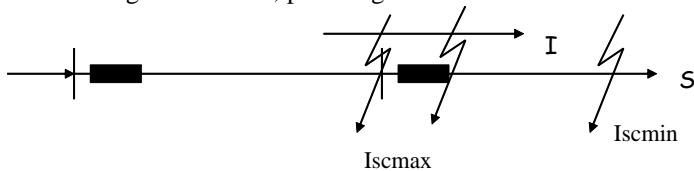
$$I_{SC} \text{ maksimal sekunder} < I_{SC} \text{ minimal primer}$$



Gambar 2.8 Rele pengaman pada trafo

Dimana nilai I_{SC} maksimal sekunder yaitu nilai gangguan maksimum tiga fasa pada sekunder trafo, dan untuk I_{SC} minimal primer yaitu nilai gangguan minimum dua fasa pada primer trafo. Hal ini dilakukan untuk menghindari besarnya arus hubung singkat minimum dua fasa jika ada gangguan pada sisi primer trafo.

Setting waktu kerja rele yang perlu dipertimbangkan yaitu kecepatan dan selektivitas kerja dari rele sehingga rele tidak salah operasi. Yang harus diketahui dari karakteristik rele untuk *setting* waktu yaitu harus dihitung arus hubung singkat maximum yang terdiri dari : arus hubung singkat tiga fasa, gangguan di paling dekat dengan pemutus tenaga atau di bus, pembangkitan maksimum.



Gambar 2.9 Diagram satu garis pembangkitan maksimum

Yang juga perlu diketahui dari *setting* waktu rele adalah waktu operasi dari rangkaian pengaman, yaitu waktu yang diperlukan untuk rele mulai *pick-up* sampai kontak pemutus tenaga terbuka. Berdasar IEEE STD 242 untuk rele statik :

Waktu terbuka pemutus tenaga : 0,04 – 0,1 det (2-5 Cycle)
Overtravel dari rele : 0,1 detik.
Toleransi rele dan eror *setting* : 0,12 – 0,22 detik.
Total interval waktu rele : 0,32 detik.

Untuk rele digital berbasis *microprosesor*, besaran waktu sama seperti rele statik kecuali *overtravel time* dari rele yang dapat diabaikan atau bernilai 0 dengan total interval waktu rele sebesar 0,22 detik. Sehingga total waktu interval untuk rele biasanya digunakan = 0,2 - 0,4 [3].

2.3 Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL)

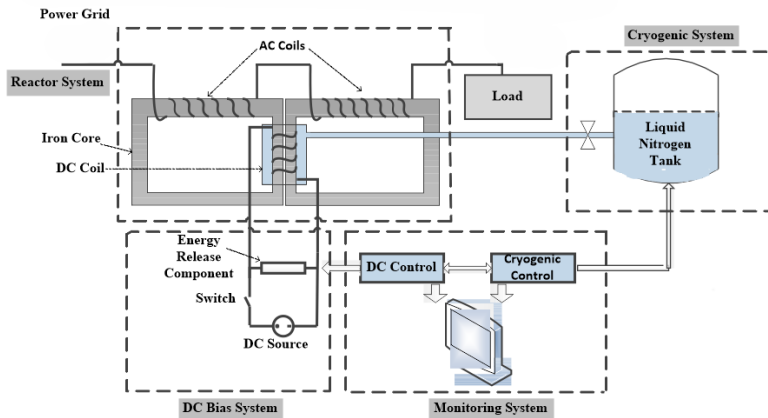
Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL) adalah jenis *device* pembatas arus hubung singkat dalam sistem tenaga listrik. SISFCL adalah aplikasi baru dari teknologi superkonduktor pada peralatan kelistrikan. SISFCL dianggap sebagai solusi yang baik untuk membatasi arus gangguan karena lebih murah. Selain itu, SISFCL juga mampu memberikan impedansi pembatas arus yang besar. SISFCL adalah salah satu jenis induktif SFCL yang memiliki prinsip kerja dari inti besi reaktor konvensional. SISFCL mendeteksi adanya gangguan hubung singkat dalam 1 ms, membatasi arus gangguan selama 5 ms dan kembali ke keadaan *recovery* atau keadaan normal sekitar beberapa ratus mili detik [7,8]. SISFCL dapat digunakan di tegangan tinggi dan *power grid* dengan kapasitas besar [6].

2.3.1 Bagian – Bagian dari Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL) [9]

SISFCL disusun dari satu sistem reaktor, satu sistem kriogenik, satu sistem bias DC dan satu sistem monitoring.

a. Sistem Reaktor

Sistem reaktor adalah bagian utama dari sistem SISFCL. Sistem reaktor terdiri dari inti besi, kumparan superkonduktor, kumparan AC dan kumparan DC.



Gambar 2.10 Sistem SISFCL [6]

Kumparan AC dibuat dari konduktor konvensional (tembaga atau aluminium) dan isolasi (epoxy, kertas atau minyak). Kumparan superkonduktor dapat menghasilkan penguatan arus yang besar dengan rugi yang rendah dan volume yang kecil. Saat kumparan DC teraliri arus, maka kumparan DC akan memberikan eksitasi untuk membuat inti besi saturasi.

b. Sistem Kriogenik

Sistem kriogenik pada SISFCL berfungsi sebagai penjaga suhu sistem agar tetap berada di dalam suhu yang rendah. Kumparan superkonduktor harus beroperasi di lingkungan dengan suhu rendah, oleh sebab itu sangat membutuhkan sistem kriogenik. Ada dua jenis sistem kriogenik : loop tertutup dan loop terbuka. Pada SISFCL memakai sistem kriogenik loop terbuka karena pemeliharaan yang mudah dan tingkat keandalan yang tinggi. Sistem kriogenik terdiri dari nitrogen cair (LN_2), dewar, pompa nitrogen, rangkaian kontrol, dan aksesoris seperti pipa nitrogen, katup, sensor untuk tekanan dan suhu, dsb. Suhu nitrogen cair sekitar $72-76\text{ }^{\circ}\text{K}$ atau sekitar minus $197,15-201,15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

c. Sistem Bias DC

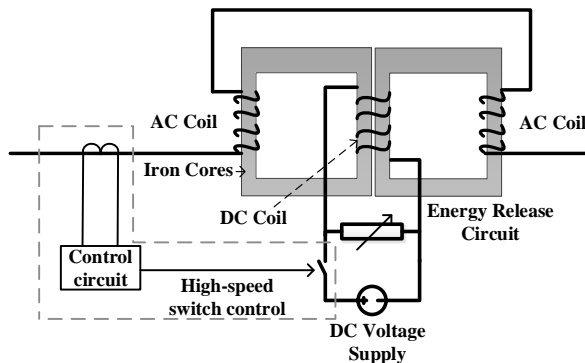
Sistem bias DC berfungsi menjadikan inti besi pada keadaan saturasi oleh arus DC sehingga menyebabkan induktansi kecil pada keadaan normal. Saat kondisi gangguan, arus DC di putus sehingga kedua kumparan keluar dari kondisi saturasi. Hasilnya peningkatan

impedansi dapat melindungi sistem bias DC. Untuk melindungi kumparan superkonduktif dari tegangan listrik tinggi yang disebabkan pemutusan arus DC selama kondisi gangguan, rangkaian pelepasan energi digunakan untuk menekan tegangan induksi. Saat gangguan telah diamankan, inti besi akan kembali pada kondisi saturasi dengan impedansi yang kecil. Sistem bias DC memiliki karakteristik operasi sebagai berikut :

1. Pada keadaan steady state, keluaran sumber DC menghasilkan arus konstan.
2. *Switch* dapat memotong arus DC saat 5 mili detik sesaat setelah arus gangguan dideteksi. Rangkaian pelepasan energi menyerap daya dari kumparan superkonduktor dalam seperseribu milidetik.
3. Setelah menuntaskan arus gangguan, sistem bias DC memulihkan keadaan ke arus DC normal pada ratusan mili detik. SISFCL berubah ke keadaan impedansi rendah sebelum pemutus tenaga tertutup.
- d. Sistem Monitoring

Fungsi utama sistem monitoring adalah untuk menerima sinyal gangguan hubung singkat, mengontrol sistem bias DC dan sistem kriogenik, untuk memonitor arus dari *grid*, dan untuk mengkomunikasikan dengan sistem perlindungan rele.

Konsep aktif SISFCL diwujudkan yaitu dengan menambahkan kontrol aktif pada rangkaian magnetisasi DC. Sistem magnetisasi DC dari aktif kontrol SISFCL terdiri dari 4 bagian utama yaitu : kumparan bias superkonduktor, sumber tegangan DC, *switch* kecepatan tinggi dan rangkaian pelepasan energi.



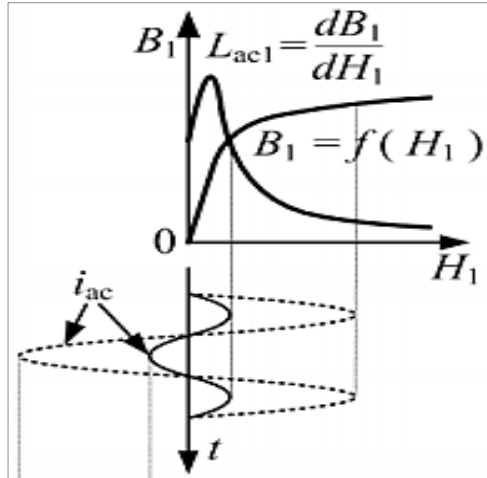
Gambar 2.11 Skematik rangkaian aktif SISFCL [7]

Sumber tegangan menyediakan arus konstan kumparan DC untuk memagnetisasi pada inti. Sumber tegangan DC berasal dari tegangan AC tiga phasa 380 V yang akan disearahkan dengan *rectifier* dan menghasilkan output sebesar 50 V DC untuk operasi normal dan 500 V DC untuk operasi magnetisasi yang cepat. Pada saat operasi normal, sumber DC menyediakan arus magnetisasi konstan dengan tegangan yang rendah. Untuk operasi magnetisasi dengan cepat, sumber DC memberikan sumber tegangan yang tinggi sebesar 550 V kepada kumparan DC, dan selama proses tersebut *switch* akan *on*.

Switch kecepatan tinggi terdiri dari rangkaian *High Voltage Insulated Gate Bipolar Transistor* (HVIGBT) yang berfungsi untuk membuka dan menutup dengan cepat rangkaian magnetisasi DC. Rangkaian pelepasan energi terdiri dari ZnO *piezoresistor* yang berfungsi mengantisipasi kenaikan tegangan yang disebabkan oleh pembukaan saklar yang cepat dari rangkaian magnetisasi DC serta melindungi peralatan pada saat terjadi gangguan [10].

2.3.2 Cara kerja dari Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL)

Pada saat keadaan normal, *switch* rangkaian DC dalam keadaan *close* sehingga arus DC mengalir pada kumparan DC yang mengakibatkan kedua inti besi mengalami saturasi dan menjadikan medan (H) besar, serta impedansi menjadi kecil seperti impedansi udara. Saat gangguan hubung singkat terdeteksi dalam waktu 1 mili detik, rangkaian kontrol akan mengirim sinyal ke *switch* kecepatan tinggi dan *switch* rangkaian DC akan terbuka dan mengakibatkan inti besi keluar dari kondisi saturasi dan mengecil. Energi megnetik atau kuat medan (H) yang tersimpan dalam inti selama saturasi lalu dilepaskan melalui rangkaian pelepasan energi sehingga meningkatkan impedansi dari kumparan AC. Meningkatnya impedansi akan membatasi arus hubung singkat dalam waktu 5 mili detik.



Gambar 2.12 Kurva karakteristik pembatas arus pada aktif SISFCL

Dari gambar diatas didapatkan suatu persamaan yaitu :

$$L = \frac{dB}{dH} \quad (2.14)$$

Besarnya nilai impedansi dipengaruhi oleh perubahan kerapatan flux (B) dan perubahan kerapatan kuat medan (H). Setelah gangguan hilang, *switch* rangkaian DC akan kembali *close* dan arus DC akan mengalir kembali pada kumparan DC sehingga inti besi kembali saturasi dan menyebabkan impedansi menjadi kecil. Waktu *recovery* atau waktu dari gangguan ke normal kembali dibutuhkan waktu beberapa ratus mili detik, atau sekitar 800 mili detik [7,10].

2.3.3 Perbandingan SISFCL dengan Pembatas Arus Lainnya

SISFCL mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan jenis SFCL lainnya yaitu pada SISFCL tidak terjadi *quench* atau peralihan tahanan selama proses pembatasan arus gangguan yang bisa menyebabkan panas yang besar selama proses pengurangan atau pembatasan arus gangguan sampai proses *recovery*. Keuntungan lain dari SISFCL yaitu bahan superkonduktor dari SISFCL yang selalu di *supply* oleh arus DC sehingga tidak akan terkena dampak langsung dari hubung singkat yang terjadi [6].

SISFCL dibandingkan dengan jenis *fault current limiter* lainnya seperti Is Limiter yaitu dari sisi ekonomis, jika menggunakan Is Limiter maka setiap selesai ada gangguan harus mengganti *fuse* yang meleleh ketika memotong arus gangguan, dan juga pada Is Limiter saat proses pemotongan arus gangguan terjadi *arc flash* sehingga dapat membahayakan jika arus gangguan yang terjadi sangat besar.

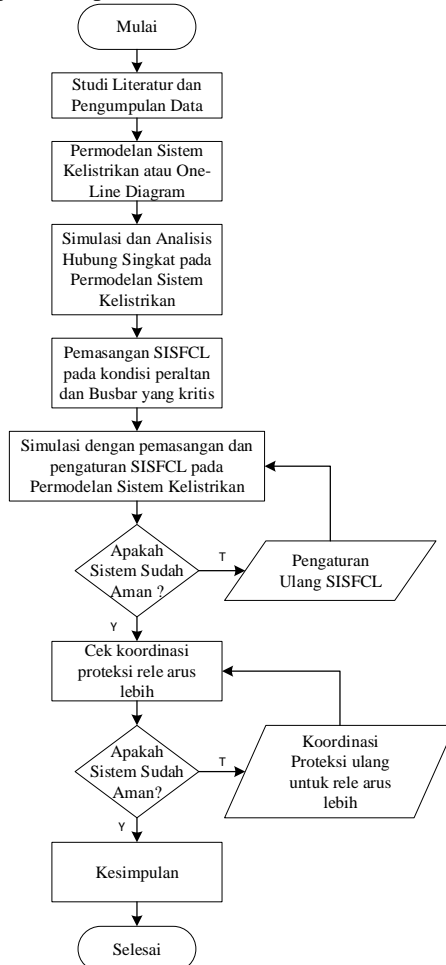
Keuntungan lain dari penggunaan SISFCL dibandingkan dengan *air – core* reaktor pembatas arus dan trafo tradisional yaitu : dari segi struktur dan fungsi, pada SISFCL tidak ada celah udara seperti trafo, tetapi fungsi dan penggunaanya seperti *air – core* reaktor pembatas arus. Dalam aplikasi pada *grid* dalam keadaan *steady state* atau keadaan normal, impedansi dalam SISFCL mendekati nol, dan saat ada gangguan maka impedansi SISFCL tinggi, beda dengan *air – core* reaktor yang memberi nilai impedansi tetap pada kondisi normal dan gangguan, sehingga menyebabkan jatuh tegangan dan rugi daya lebih besar [6].

BAB III

SISTEM KELISTRIKAN PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

3.1 Metode Pengerjaan Tugas Akhir

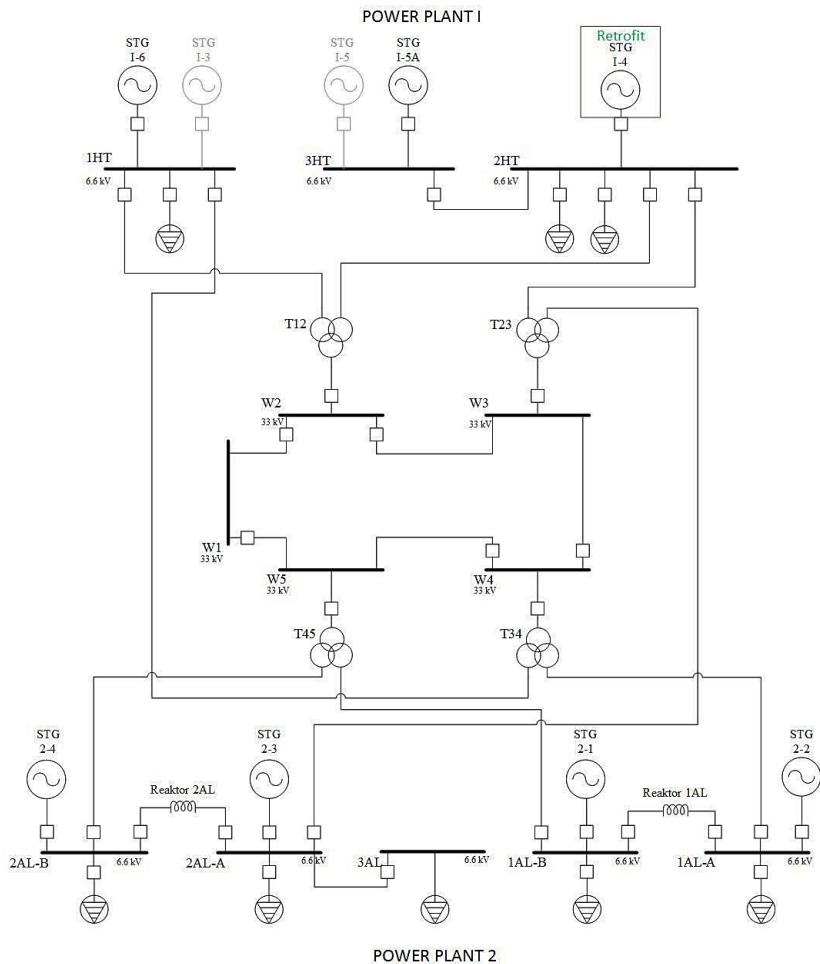
Berikut merupakan *flowchart* dari metode pengerjaan berdasarkan permasalahan yang dijelaskan pada bab I.



Gambar 3.1 *Flowchart* metode pengerjaan

3.2 Data Sistem Kelistrikan PT. PERTAMINA RU V

Sistem kelistrikan PT. PERTAMINA RU V memiliki dua wilayah *Power Plant* yaitu *Power Plant I* (PP1) di Kilang 1 dan *Power Plant II* (PP2) di Kilang 2. Berikut adalah *single line diagram* keseluruhan sistem kelistrikan PT PERTAMINA RU V sesuai pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Single line diagram eksisting PT. PERTAMINA RU V

Pada PP1 terdapat 5 pembangkit STG yaitu STG 1-3, STG 1-4, STG 1-5, STG 1-5A, STG 1-6 sedangkan pada PP2 terdapat 4 pembangkit STG yaitu STG 2-1, STG 2-2, STG 2-3, STG 2-4. Pembangkit-pembangkit inilah yang melayani kebutuhan suplai daya ke beban-bebannya. Namun PT. PERTAMINA RU V berencana untuk meningkatkan kapasitas produksi demi memenuhi target yang akan dicapai. Kondisi *existing* hingga saat ini hanya dioperasikan enam pembangkit STG yang beroperasi sejumlah 64.8MW. Sehingga PT. PERTAMINA RU V melakukan retrofit pada pembangkit STG I-4 sehingga total pembangkitan setelah STG I-4 di retrofit sebesar 73.8 MW.

3.2.1 Data Rating Tegangan

Pada sistem kelistrikan PT. PERTAMINA RU V terdapat 3 *rating* tegangan yang digunakan dalam proses distribusi tenaga listrik, yaitu sebagai berikut :

a. *Rating* tegangan 6.6 kV

Rating tegangan 6.6 kV berada pada seluruh *outgoing* generator 6.6 kV dan digunakan untuk distribusi dengan beban yang memiliki kapasitas besar.

b. *Rating* tegangan 33 kV

Rating tegangan 33 kV digunakan dalam sistem distribusi *ring*. Tujuan dari digunakannya *rating* tegangan 33 kV ini untuk memperoleh keandalan yang lebih baik.

c. *Rating* tegangan 0.38 kV

Rating tegangan 0.38 kV digunakan untuk mendistribusikan daya listrik ke beban dengan kapasitas yang kecil.

3.2.2 Data Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik

PT. PERTAMINA RU V memiliki sembilan unit generator untuk menyuplai sistem kelistrikannya. Jenis generator untuk pembangkitan pada PT. PERTAMINA RU V yaitu sembilan generator jenis STG (*Steam Turbine Generator*). Dalam operasi normal, PT. PERTAMINA RU V mengoperasikan 6 generator. Rincian data generator ditunjukkan pada Tabel 3.1:

Tabel 3.1 Pembangkit Tenaga Listrik PT. PERTAMINA RU V

Lokasi	No	ID Unit	Tegangan (kV)	Kapasitas (MW)	Keterangan
Power Plant 1	1	STG 1-3	6.6	7.5	Out
	2	STG 1-4	6.6	9	*Retrofit
	3	STG 1-5	6.6	9	Out
	4	STG 1-5A	6.6	9	In
	5	STG 1-6	6.6	9	In
Total				43.5	
Power Plant 2	1	STG 2-1	6.6	8.4	In
	2	STG 2-2	6.6	12.8	In
	3	STG 2-3	6.6	12.8	In
	4	STG 2-4	6.6	12.8	In
Total				46.8	
Total PP1 + PP2				90.3	73.8

3.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik PT. PERTAMINA RU V

Jaringan sistem distribusi pada PT. PERTAMINA RU V Balikpapan memiliki 3 konfigurasi yaitu :

1. Radial murni
2. *Selective Secondary Radial*
3. *Ring*

Radial murni digunakan pada *substation* yang terhubung menuju PP1. Sedangkan *selective secondary radial* digunakan pada *substation* yang terhubung menuju PP2. *Selective secondary radial* ini merupakan konfigurasi jaringan yang memiliki tingkat keandalan suplai, hal ini dikarenakan adanya alternatif suplai menuju beban dengan adanya dua *incoming feeder* dan adanya bus *tie breaker*. Sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu *incoming feeder* yang lain dan sistem ring digunakan sebagai penghubung antara PP1 dan PP2

Sistem Distribusi sistem ring 33 kV dengan 5 bus ring utama dan distribusi radial dengan tegangan distribusi 6.6 kV untuk tegangan menengah dan tegangan 0.38 kV untuk tegangan rendahnya.

Sistem ini memiliki beberapa kelemahan dan juga beberapa keuntungan. Keuntungannya jika terjadi gangguan pada salah satu bus maka suplai daya ke beban tidak akan terputus karena daya disalurkan

melalui lebih dari satu line saja, sedangkan kelemahannya sistem ring ini agak rumit dan mahal.

Dalam sistem distribusi PT. PERTAMINA RU V Balikpapan ditunjang dengan beberapa transformator sebelum masuk ke beban guna menurunkan tegangan. Terdapat 4 buah trafo *three windings* berkapasitas 16/8/8 MVA. Trafo-trafo tersebut digunakan untuk menghubungkan antara masing-masing *substation* ke sistem ring 33 kV.

3.3.1 Data Transformers

Terdapat beberapa transformator dalam jaring distribusi PT. PERTAMINA RU V yang akan berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan pendistribusian tenaga listrik. Tabel 3.2 adalah data transformator yang terpasang pada PT. PERTAMINA RU V.

Tabel 3.2 Data Transformator di PT. PERTAMINA RU V

No	ID Transformers	Rating Tegangan		%Z	Daya (MVA)
		Primer (kV)	Sekunder (kV)		
1	HSTR1	6.6	0.4	5.75	1
2	HSTR2	6.6	0.4	5.75	1
3	HSTR3	6.6	0,4	5.75	1
4	TR61A	6.6	0,4	5.75	1.6
5	TR61B	6.6	0.4	5	1.6
6	TR61C	6.6	0.4	5	1
7	TR61D	6.6	0,4	5	1
8	TR61E	6.6	0.4	5	1
9	TR61F	6.6	0.4	5	1
10	TR62A	6.6	0,4	6.25	1.6
11	TR62B	6.6	0,4	6.25	1.6
12	TR63A	6.6	0.4	6.25	1.6
13	TR63B	6.6	0.4	6.25	1.6
14	TR64A	6.6	0,4	5	1
15	TR64B	6.6	0,4	5	1

16	TR65A	6.6	0.4	5	1
17	TR65B	6.6	0.4	5	1
18	TR66A	6.6	0,4	6.25	1.6
19	TR66B	6.6	0,4	6.25	1.6
20	TR67A	6.6	0.4	6.25	1.6
21	TR67B	6.6	0.4	6.25	1.6
22	TR68A	6.6	0,4	5	1
23	TR68B	6.6	0,4	5	1

Sistem distribusi PT. PERTAMINA RU V ini juga ditunjang oleh peralatan *tie* transformator. *Tie* transformator berfungsi untuk menghubungkan antar *utility* dengan kapasitas sebesar 16 MVA. Tabel 3.3 adalah data kapasitas *Tie* transformator.

Tabel 3.3 Tabel Data *Tie* Transformator Pada PT. PERTAMINA RU V.

No	ID	Daya (MVA)	kV	%Z	Hubungan
1	T12	16	33/6.6/6.6	13.1	w/d/d
2	T23	16	33/6.6/6.6	13.1	w/d/d
3	T34	16	33/6.6/6.6	13.1	w/d/d
4	T45	16	33/6.6/6.6	13.1	w/d/d

3.3.2 Jumlah Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Demand.

Summary dari jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan *demand* dari PT. PERTAMINA RU V Balikpapan dapat dilihat pada Tabel 3.4:

Tabel 3.4 Tabel Data Jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan *Demand* Pada PT. PERTAMINA RU V.

	MW	MVar	MVA	%PF
<i>Source (swing bus)</i>	28.45	18.94	34.18	83.23 Lag
<i>Source (non swingbus)</i>	34.00	19.65	39.27	86.58 Lag
<i>Total Demand</i>	62.450	38.60	73.41	85.06 Lag
<i>Total Motor Load</i>	53.372	32.53	62.50	85.39 Lag
<i>Total Static Load</i>	8.819	5.5	10.43	84.51 Lag

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS PADA PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis kemampuan *bus*, analisis hubung singkat, serta pengaturan dan cara kerja *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL).

4.1 Analisis Kemampuan Peralatan

Pada tugas akhir ini membahas mengenai aplikasi penggunaan dari *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) sebagai sistem pengaman peralatan, seperti *switchgear* di PT. PERTAMINA RU V Balikpapan. Untuk analisis kemampuan peralatan, dilakukan analisis hubung singkat maksimum 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle untuk melihat kondisi masing-masing *busbar* atau *switchgear* ketika terjadi gangguan maksimum atau dalam fase sub-transien (*momentary*) pada saat kondisi awal atau eksisting. Dengan melakukan analisa hubung singkat tiga fasa $\frac{1}{2}$ cycle selanjutnya dapat diketahui busbar mana saja yang arus hubung singkatnya melebihi rating dari kemampuan *bracing* busbar atau dalam keadaan kritis. Setelah mengetahui *switchgear* mana saja yang dalam keadaan kritis maupun tidak mampu menahan arus hubung singkat tiga fasa $\frac{1}{2}$ cycle, maka selanjutnya diletakkan *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter* (SISFCL) untuk melindungi peralatan yang melebihi rating dari kemampuan peralatan. Penggunaan SISFCL ini digunakan untuk mereduksi arus hubung singkat yang menuju busbar yang masuk kategori arus hubung singkatnya melebihi rating dari kemampuan *bracing* busbar atau dalam keadaan kritis. Untuk memodelkan gelombang arus hubung singkat dapat dilakukan dengan menggunakan metode *transien* IEC 61361. Gangguan diberikan pada Power Plant 1 (PP1). Untuk PP1 busbar utama yaitu bus 1HT, 2HT, dan 3HT dengan *rating* tegangan 6.6 kV dan dilihat berapa nilai arus *asymmetry peak* (nilai arus puncak yang mengandung komponen DC) apakah nilai gangguan tersebut melebihi kapasitas kemampuan *bus* sesaat dalam menahan arus hubung singkat maksimum atau *bracing* pada *rating bus* tersebut. Analisis ini dijalankan dengan kondisi operasi normal atau pembangkitan maksimum. Hasil simulasi pada untuk analisis gangguan maksimum 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle dan kemampuan peralatan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data perbandingan kemampuan bus 6.6 kV dengan I_{sc} maksimum 3 fasa pada kondisi $\frac{1}{2}$ cycle

No	ID Bus	Rating Bus (kV)	Bracing Peak Bus (kA)	Asymetri peak Arus Gangguan Maksimal 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle (kA)
1	1HT	6,6	78,75	71,60
2	2HT	6,6	78,75	84,72
3	3HT	6,6	78,75	84,72

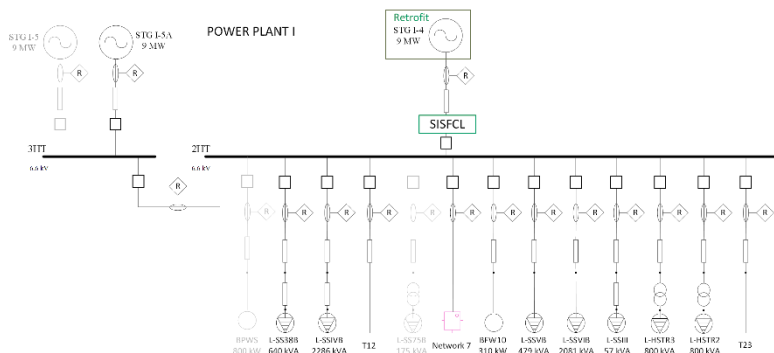
Dari data Tabel 4.1 bisa di analisis bahwa pada bus 2HT dan 3HT, nilai arus gangguan puncak maksimal 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle sebesar 84,722 kA melebihi nilai batas kemampuan peralatan atau bracing pada bus sebesar 78,75 kA. Untuk bus yaitu 6,6 kV BUS-1HT masih dalam batas aman, karena nilai arus gangguan puncak maksimal 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle dibawah nilai batas kemampuan bus tersebut. Dari hasil analisis kemampuan bus diatas bisa diambil kesimpulan jika bus 2HT dan 3HT membutuhkan sebuah device pembatas arus hubung singkat yaitu Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL).

4.2 Pengaturan dan Penerapan *Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter (SISFCL)*

Setelah mengetahui bus mana yang memerlukan SISFCL, maka selanjutnya adalah menentukan dimana letak SISFCL agar mampu membatasi arus gangguan secara maksimal. Peletakan SISFCL biasanya dipasang pada *feeder* yang melewati arus kontribusi terbesar tetapi untuk pemasangan SISFCL di Kilang I dipasang pada *incoming* dari generator STG I-4 menuju bus 2HT dengan. Untuk nilai kontribusi pada bus 2HT bisa dilihat dalam Gambar 4.1 berikut :

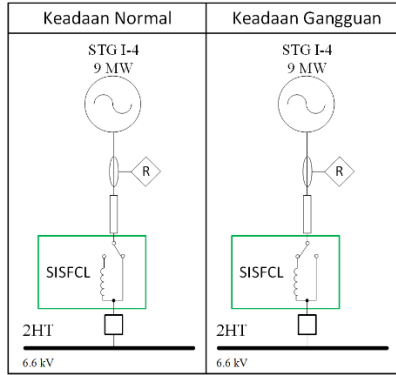


Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai arus kontribusi terbesar pada trafo T23. Tetapi SISFCL tidak ditempatkan pada *feeder* yang menuju trafo T23 dikarenakan jika CB NP45 *trip* atau tidak mendapatkan daya yang disebabkan *load shedding* atau gangguan hubung singkat maka penempatan tersebut kurang ideal sehingga SISFCL akan dipasang pada *incoming* dari generator STG I-4 yang terhubung ke 6,6 kV BUS-2HT.



Gambar 4.2 Lokasi pemasangan SISFCL pada *incoming* dari STG I-4 yang menghubungkan pada bus 2HT.

Pada simulasi SISFCL dimodelkan dengan reaktor biasa yang terhubung ke sistem dengan *switch*, karena prinsip kerja SISFCL sendiri seperti reaktor, yaitu mereduksi arus gangguan dengan impedansi saturasi inti besi. Dalam keadaan normal atau tidak ada gangguan, nilai impedansi pada SISFCL sangat kecil atau mendekati nol, sehingga dalam simulasi untuk keadaan normal *switch* tidak terhubung dengan reaktor. Apabila terjadi gangguan, maka *switch* akan terhubung dengan reaktor dan arus gangguan akan direduksi dengan kenaikan nilai impedansi.



Gambar 4.3 Posisi *switch* reaktor sebagai permodelan SISFCL saat keadaan normal dan keadaan gangguan pada simulasi.

Besarnya nilai impedansi pada SISFCL dihitung berdasarkan persamaan impedansi pada reaktor sebagai berikut:

$$Z = \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{I_{SC\ desire}} - \frac{1}{I_{SC\ system}} \right] \quad (4.1)$$

Dimana :

V_{bus} : rating tegangan bus dimana SISFCL dipasang

$I_{SC\ desire}$: nilai arus gangguan sisa yang diinginkan yang lewat pada SISFCL

$I_{SC\ system}$: nilai arus kontribusi dari *incoming* STG I-4 yang akan dipasang SISFCL

Jika perhitungan diatas diimplementasikan pada *incoming* yang dipasang SISFCL untuk membatasi arus gangguan hubung singkat, perhitunganya nilai impedansi sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \frac{V_{bus}}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{I_{SC\ desire}} - \frac{1}{I_{SC\ system}} \right] \\
 Z_1 &= \frac{6600}{\sqrt{3}} \left[\frac{1}{1400} - \frac{1}{5770} \right] \\
 &= 2,061 \, \Omega
 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Untuk SISFCL nilai arus gangguan sisa yang diinginkan melewati SISFCL sebesar 1,4 kA atau arus gangguan yang direduksi sebesar 4,29 kA yang berasal dari arus kontribusi *incoming* dari generator STG I-4 yang menuju bus 2HT sebesar 5,78 kA.

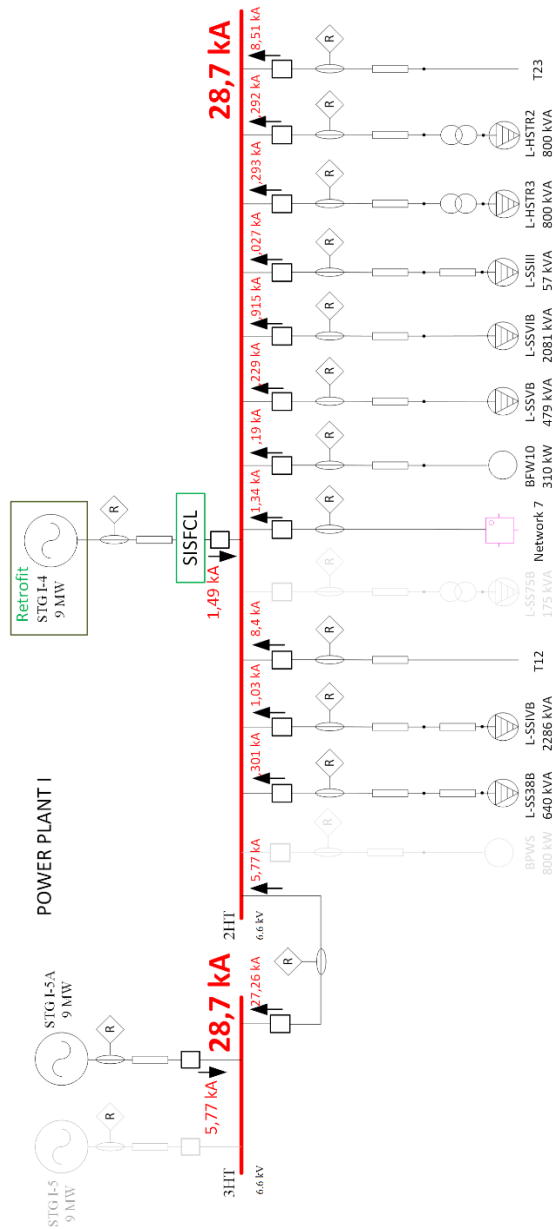
4.3 Analisis Kemampuan Bus Setelah Pemasangan SISFCL

Setelah menghitung nilai impedansi untuk SISFCL maka selanjutnya menganalisis kemampuan peralatan atau bus 2HT dan 3HT dengan diberi gangguan maksimal 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle dan dilihat nilai *asymmetry peak* total bus dan arus kontribusi, apakah sudah aman atau dibawah batas nilai *bracing* pada bus tersebut.

Tabel 4.2 Data perbandingan kemampuan bus 2HT dan 3HT dengan I_{sc} maksimum 3 fasa pada kondisi $\frac{1}{2}$ cycle sebelum dan sesudah dipasang SISFCL

No	ID Bus	Rating Bus (kV)	Bracing Peak Bus (kA)	Asymetri peak Arus Gangguan Maksimal 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle (kA)	
				Tanpa SISFCL	Dengan SISFCL
1	2HT	6,6	78,75	84,722	73,179
2	3HT	6,6	78,75	84,722	73,179

Dari Tabel diatas bisa dianalisis bahwa dengan pemasangan SISFCL pada *incoming* dengan arus kontribusi yang menuju bus 2HT, nilai *asymetri peak* arus gangguan maksimal 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle total pada bus 2HT berkurang. Sebelum dipasang SISFCL, nilai *asymetri peak* gangguan sebesar 84,722 kA, sedangkan nilai *bracing* pada bus 2HT yaitu 78,75 kA. Hal ini dapat menyebabkan bus tersebut mengalami kerusakan akibat arus yang sangat besar serta panas yang berlebih, sehingga beresiko melakukan penggantian peralatan pada sistem yang terkena dampak tersebut yang tentunya sangat merugikan. Setelah dipasang SISFCL pada *incoming* generator STG I-4, maka nilai *asymetri peak* arus gangguan maksimal 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle total pada bus 2HT dan 3HT berkurang dari 84,722 kA menjadi 73,179 kA. Jika terjadi gangguan, maka bus 2HT dan 3HT lebih aman karena nilai arus gangguan lebih kecil atau dibawah dari batas aman *bracing* bus 2HT dan bus 3HT.

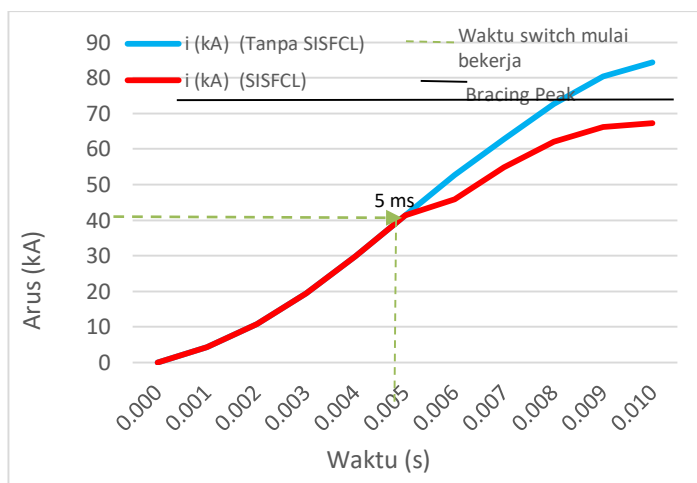


Gambar 4.4 Nilai arus kontribusi *initial symmetrical rms* pada bus 2HT sesudah pemasangan SISFCL

Dari Gambar 4.4 bisa dilihat jika nilai arus kontribusi yang lewat pada *incoming* yang dipasang SISFCL sesuai dengan perhitungan yang diinginkan. Untuk *incoming* generator STG I-4 yang terhubung ke bus 6.6 kV BUS-2HT arus kontribusi yang lewat SISFCL dari 5,77 kA menjadi 1,49 kA hasil ini sesuai dengan perhitungan pada 4.2, dengan nilai arus gangguan total pada bus 2HT menjadi 73,2 kA dari yang sebelum dipasang SISFCL sebesar 84,72 kA. SISFCL mereduksi arus gangguan yang melewatinya saja, jadi nilai arus gangguan pada *feeder* beban tidak berubah.

4.4 Cara Kerja SISFCL

Pada saat kondisi normal, *switch* rangkaian DC pada SISFCL dalam keadaan *close* sehingga arus DC mengalir pada kumparan DC yang mengakibatkan kedua inti besi mengalami saturasi dan menjadikan kuat medan (H) meningkat, sehingga impedansi pada SISFCL menjadi kecil seperti impedansi udara.

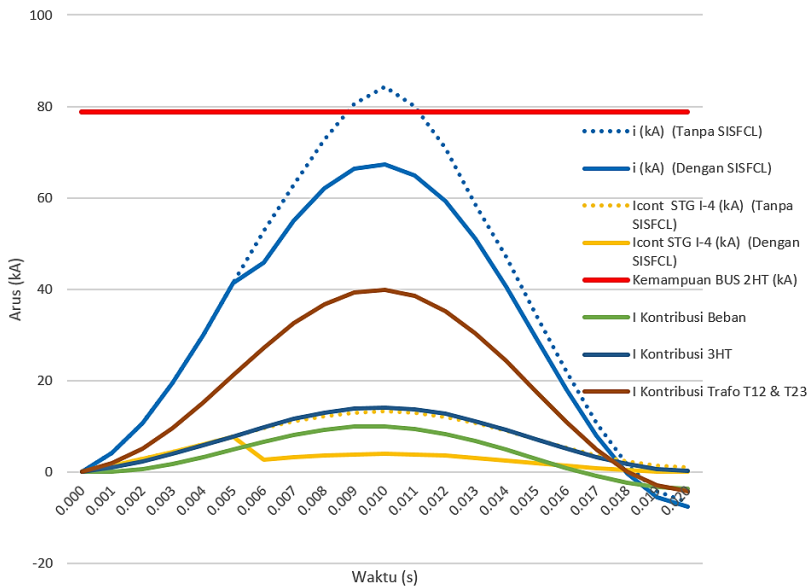


Gambar 4.5 Gelombang arus saat keadaan gangguan pada bus 2HT

Pada saat kondisi gangguan, arus hubung singkat sebelum pemasangan SISFCL terlihat pada Gambar 4.5 gelombang biru, sedangkan grafik hubung singkat setelah dipasang SISFCL terlihat pada gelombang berwarna merah. Saat terjadi gangguan pada 1 *millisecond*,

terjadi perbedaan arus pada kondisi normal dan arus saat kondisi gangguan. SISFCL akan mendeteksi adanya perbedaan arus yang mengalir pada *feeder*. Rangkaian kontrol akan memerintahkan *switch* rangkaian DC untuk membuka, sehingga inti besi keluar dari kondisi saturasi dan kuat medan (H) mengecil sedangkan impedansi meningkat pada kumparan AC. Selanjutnya pada saat 5 *millisecond* arus gangguan yang lewat kumparan AC pada SISFCL akan diredam, dan selebihnya dilewatkan menuju sistem dengan nilai yang lebih kecil dari nilai arus gangguan asalnya. Untuk memodelkan bentuk gelombang arus hubung singkat 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pertama pada bus 2HT digunakan metode transien IEC 61361.

Untuk menurunkan arus hubung singkat agar peralatan aman dari arus yang melebihi kapasitas rating peralatan maka pemasangan SISFCL merupakan cara yang tepat sehingga arus puncak hubung singkat dapat direduksi. Bentuk gelombang $\frac{1}{2}$ cycle pertama arus hubung singkat pada bus 2HT dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Analisis Cara Kerja SISFCL Saat Membatasi Arus Gangguan

Dari Gambar 4.6 menunjukkan bahwa nilai puncak arus hubung singkat berwarna biru dengan garis titik-titik melebihi nilai *bracing switchgear* jika tanpa adanya pembatasan arus hubung singkat. Sedangkan nilai arus hubung singkat total pada bus 2HT diperoleh dari penjumlahan seluruh arus kontribusi pada bus 2HT, yaitu I kontribusi trafo, I kontribusi beban total, I kontribusi Generator STG I-4 dan I kontribusi BUS 3HT. Nilai perbandingan arus hubung singkat $\frac{1}{2}$ cycle pada sistem sebelum dan setelah pemasangan SISFCL ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Pada saat terjadi gangguan maksimal 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada bus 2HT, gelombang arus menjadi tidak simetri, nilai arus gangguan melebihi *bracing peak* atau kemampuan bus dalam menahan arus gangguan. Gambar gelombang arus pada bus 2HT ketika terjadi gangguan bisa dilihat pada Gambar 4.6.

Setelah 5 *millisecond*, nilai arus gangguan yang direduksi oleh SISFCL turun sampai dibawah batas kemampuan bus 2HT sehingga arus gangguan tidak sampai merusak bus tersebut. Kurva perbandingan gelombang arus gangguan tanpa SISFCL dengan gelombang arus gangguan setelah dipasang SISFCL bisa dilihat pada Gambar 4.6. Terlihat bahwa garis biru solid adalah hasil dari pembatasan arus setelah pemasangan SISFCL

Ketika gangguan hubung singkat sudah kembali ke keadaan normal SISFCL mencapai kondisi *recovery* atau kembali ke keadaan normal dengan membutuhkan waktu 800 *millisecond* atau 0,8 detik. *Switch* rangkaian DC akan kembali *close* dan arus DC kembali mengalir pada kumparan DC sehingga nilai kuat medan (H) akan naik dan nilai impedansi turun sampai seperti impedansi udara.

Pada Gambar 4.6 bisa dilihat kerja SISFCL yang mereduksi arus gangguan pada *incoming* yang menghubungkan generator STG I-4 dengan bus 2HT. Pada *incoming* generator STG I-4 menuju bus 6.6 kV 2HT arus kontribusi gangguan maksimal 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle yang semula sebesar 5,77 kA direduksi menjadi 1,49 kA.

4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Koordinasi proteksi rele arus lebih bertujuan untuk mendapatkan selektifitas yang tinggi dan waktu operasi antar rele bisa bekerja sesuai dengan yang diharapkan sehingga rele dapat bekerja dengan memberikan sinyal kepada *circuit breaker* agar mengisolasi gangguan dan menjaga

kontinuitas penyaluran daya. Pada koordinasi rele arus lebih dilakukan *setting* pada rele untuk arus dan waktu. Koordinasi rele arus lebih dilakukan karena pemasangan SISFCL berpengaruh pada nilai arus gangguan hubung singkat. Pada koordinasi rele akan dianalisis *setting* rele sebelum pemasangan SISFCL atau disebut *existing* dan sesudah pemasangan SISFCL atau *resetting*. Untuk melihat koordinasi pengaman, pertama yang dilakukan yaitu analisis kondisi *existing* pada rele di PT. PERTAMINA RU V dengan melihat plot rele pada kurva TCC (*Time Current Curve*) pada simulasi di *software*. Jika rele tidak terkoordinasi dengan baik, maka perlu dilakukan *setting* ulang pada rele tersebut dengan kondisi adanya gangguan atau saat ada penambahan SISFCL pada sistem. Akan dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai *lowset*, *time dial*, *highset* dan *time delay*. Setelah menemukan parameter nilai pada rele, barulah dilakukan *plotting* ulang kurva TCC sehingga didapatkan koordinasi rele yang tepat.

4.5.1 Pemilihan Tipikal Koordinasi pada PT. PERTAMINA RU V

Dalam melakukan koordinasi proteksi rele arus lebih, dipilih beberapa tipikal yang mewakili sistem kelistrikan PT. PERTAMINA RU V untuk memudahkan dalam melakukan *setting* ulang. Pemilihan tipikal berdasarkan pada beban terbesar dan beban terjauh. Pemilihan tipikal ini sebagai acuan untuk *setting* rele proteksi lainnya pada sistem kelistrikan *plant*. Untuk tipikal koordinasi proteksi pada PT. PERTAMINA RU V, terdapat tiga tipikal pada *existing* sistem yang telah ditentukan oleh PT. PERTAMINA RU V, tipikal – tipikal tersebut antara lain dapat dilihat pada Gambar 4.7 :

1. Tipikal 1

Koordinasi proteksi arus lebih tipikal 1 mulai dari rele pada generator STG I-5A di *bus* 6.6 kV BUS-3HT menuju *bus* 2HT dengan melewati rele pengaman Relay31 kemudian menuju beban lump terbesar yaitu L-SSIVB.

2. Tipikal 2

Koordinasi proteksi arus lebih tipikal 2 mulai dari rele pada generator STG I-4 di *bus* 2HT kV menuju Network 7 kemudian menuju *bus* SS80B dengan tujuan akhir pada beban motor GM-201-08B dan lump L-SS80B.

3. Tipikal 3

Koordinasi proteksi arus lebih tipikal 3 mulai dari rele pada generator STG I-4 di *bus* 2HT kV menuju trafo T23.

pembangkitan maksimum dan analisis hubung singkat 2 fasa 30 *cycle* pada pembangkitan minimum saat kondisi SISFCL aktif atau saat ada gangguan hubung singkat. Analisis ini digunakan untuk menentukan *setting* rele yaitu *setting time dial* dan *highset* pada tipikal rele yang telah dipilih.

4.5.2.1 Analisis Hubung Singkat Maksimum 4 Cycle

Pembangkitan maksimum pada PT. PERTAMINA RU V yaitu saat ke tujuh generator aktif ditambah dengan *supply* daya dari PLN. Hubung singkat yang dilakukan yaitu hubung singkat maksimum 3 fasa 4 *cycle* yang digunakan untuk *setting* rele saat kondisi 4 *cycle* atau kondisi *transien* sebagai batasan arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi dan untuk menentukan waktu *interrupting breaker*. Untuk *setting* rele yang digunakan yaitu arus kontribusi atau arus yang melewati rele yang di *setting*. Tujuannya yaitu agar kecepatan dan waktu *trip* CB (*circuit breaker*) lebih terkoordinasi, caranya dengan memberi gangguan 3 fasa 4 *cycle* pada *bus* dalam tipikal dan dilihat berapa arus kontribusi yang mengalir. Arus kontribusi pada tiap *feeder* bisa dilihat dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data arus kontribusi hubung singkat pembangkitan maksimum 4 *cycle* pada rele

No	ID Rele	Gangguan di bus	Arus Kontribusi (A)
1	RNP31	2HT	23290
2	Relay31	2HT	23290
3	Relay 5	Arus Kontribusi STG 1-5A	5460
4	Relay 33	SS80B	18270
5	Relay 34	SS80B	18270
6	Relay 32	2HT	23290
7	RNP35	2HT	23290
8	RNP43	2HT	23290
9	RNP45	2HT	23290

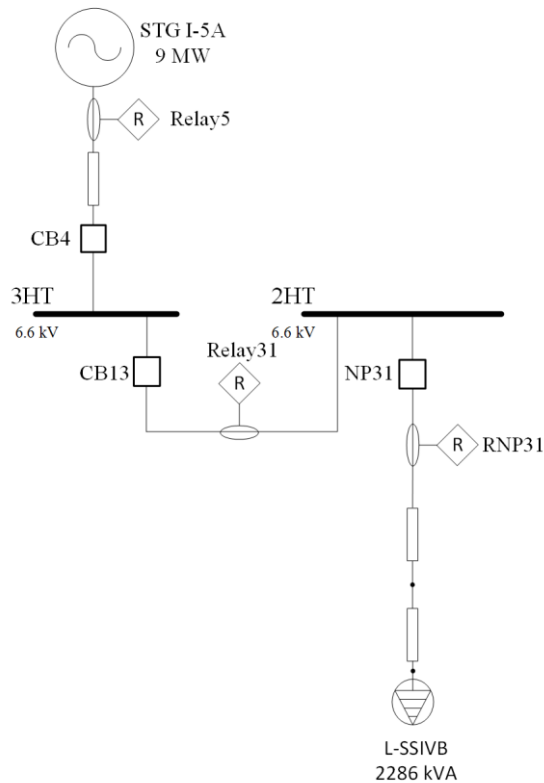
4.5.2.2 Analisis Hubung Singkat Minimum 30 Cycle

Pembangkitan minimum pada PT. PERTAMINA RU V yaitu saat operasi pembangkitan normal tetapi dengan generator 1TGG-GEG-2 tidak beroperasi. Analisis hubung singkat yang dilakukan yaitu hubung singkat minimum 2 fasa 30 cycle yang digunakan untuk *setting* rele saat kondisi 30 cycle atau kondisi *steady state* dan sebagai batasan arus hubung singkat terkecil yang mungkin terjadi. Untuk *setting* rele yang digunakan yaitu arus kontribusi atau arus yang melewati rele yang di *setting*. Tujuannya yaitu agar kecepatan dan waktu *trip* CB lebih terkoordinasi, caranya dengan memberi gangguan 2 fasa 30 cycle pada bus dalam tipikal dan dilihat berapa arus kontribusi yang mengalir. Arus kontribusi pada tiap *feeder* bisa dilihat dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data arus kontribusi hubung singkat pembangkitan minimum 30 cycle pada rele

No	ID Rele	Gangguan di bus	Arus Kontribusi (A)
1	RNP31	2HT	15790
2	Relay31	2HT	15790
3	Relay 5	Arus Kontribusi STG 1-5A	4000
4	Relay 33	SS80B	12850
5	Relay 34	SS80B	12850
6	Relay 32	2HT	15790
7	RNP35	2HT	15790
8	RNP43	2HT	15790
9	RNP45	2HT	15790

4.5.3 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 1



Gambar 4.8 *Single line diagram* tipikal 1.

Sistem pengaman pada tipikal 1 terdiri dari rele Relay5, rele Relay31, rele RNP31. Koordinasi tipikal 1 dimulai dari generator STG I-5A yang diamankan oleh Relay5 kemudian Relay31 yang melindungi bus 3HT serta *back up* dari rele sebelumnya. Rele RNP31 melindungi kabel dan beban lump L-SSIVB. *Single line diagram* tipikal 1 ditunjukkan pada Gambar 4.8.

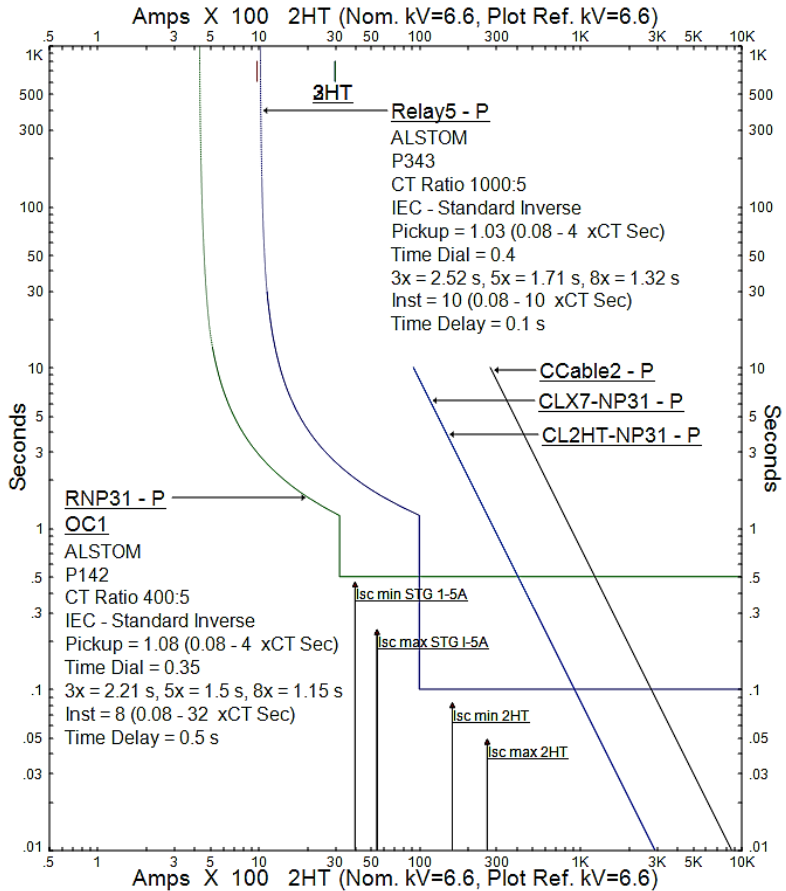
Data awal atau data eksisting koordinasi rele arus lebih tipikal 1 ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data eksisting rele tipikal 1

ID rele	CT Ratio	Setting	
RNP31	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,08
		<i>Time Dial</i>	0,35
		<i>Pickup Highset</i>	8
		<i>Time Delay</i>	0,5
Relay5	1000/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,03
		<i>Time Dial</i>	0,4
		<i>Pickup Highset</i>	10
		<i>Time Delay</i>	0,1

Sedangkan hasil plot kurva TCC bisa dilihat pada Gambar 4.9. Dari Gambar 4.12 dan dari Tabel 4.5 bisa dianalisis kondisi eksisting dari tipikal 1 sebagai berikut :

- Sistem koordinasi proteksi sebelum adanya pemasangan SISFCL sudah baik, namun dengan adanya pemasangan SISFCL arus hubung singkat semakin kecil sehingga diperlukan koordinasi proteksi ulang.
- Nilai *time delay* Relay5 dan RNP31 masih mengalami kesalahan, sehingga *grading* waktu pada tipikal 1 tidak sesuai dengan yang diinginkan.
- Nilai *pickup highset* perlu sedikit dikecilkan agar kecepatan rele dalam merespon gangguan semakin baik.
- Belum adanya pemasangan Relay31 untuk mensensing CB13 pada *tie bus* antara *bus* 3HT dan *bus* 2HT



Gambar 4.9 Gambar kurva TCC dan rangkaian *eksisting* tipikal 1

Untuk perhitungan *resetting* ulang koordinasi rele proteksi tipikal 1 perhitunganya sebagai berikut :

☒ **Rele RNP31**

Manufacturer

: ALSTOM

Model

: P142

Curve Type

: *Standard Inverse (IEC)*

CT Ratio

: 400 / 5

Isc min kontribusi : 15790 A
 Isc max kontribusi : 23290 A
 FLA Lump L-SSIVB : 200 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA L-SSIVB} \leq I_{\text{set}} \leq 1,3 \times \text{FLA L-SSIVB}$$

$$1,05 \times 200 \leq I_{\text{set}} \leq 1,3 \times 200$$

$$210 \leq I_{\text{set}} \leq 260$$

$$\frac{210}{400} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{260}{400} I_n$$

$$0,525 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,65 I_n$$

Dipilih Tap = 0,55 I_n

$$I_{\text{set}} = 0,55 \times 400 = 220 \text{ A}$$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \cdot \left[\left(\frac{23290}{220} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,34$$

Dipilih $T_d = 0,35$

Instantaneous Pickup

$$I_{\text{set}} \leq 0,8 \times \text{Isc min kontribusi}$$

$$I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 15790$$

$$I_{\text{set}} \leq 12832$$

$$\text{Tap} \leq \frac{12832}{400} I_n$$

Dipilih Tap = 1,5 I_n (Range 0.08 I_n -: 32 I_n , step 0.01 I_n)

$$I_{\text{set}} = 1,5 \times 400 = 600 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *time delay* 0,5 detik

☑ **Rele Relay31**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P142
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse (IEC)</i>
<i>CT Ratio</i>	: 600 / 5
Isc min kontribusi	: 15790 A
Isc max kontribusi	: 23290 A
FLA generator STG-I-5A	: 984.1 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA STG I-5A} \leq \text{Iset} \leq 1,3 \times \text{FLA STG I-5A}$$

$$1,05 \times 984.1 \leq \text{Iset} \leq 1,3 \times 984.1$$

$$1033.305 \leq \text{Iset} \leq 1279.33$$

$$\frac{1033.305}{600} \text{In} \leq \text{Tap} \leq \frac{1279.33}{600} \text{In}$$

$$0,722\text{In} \leq \text{Tap} \leq 2.13 \text{In}$$

$$\text{Dipilih Tap} = 0.75 \text{In}$$

$$\text{Iset} = 0.75 \times 600 = 450 \text{ A}$$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \text{Td}$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{\text{Isc max Bus 2HT}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \text{Td}$$

$$\text{Td} = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{\text{Isc max Bus 2HT}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{Td} = \frac{0,7 \cdot \left[\left(\frac{23290}{450} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{Td} = 0,41$$

$$\text{Dipilih Td} = 0,42$$

Instantaneous Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min kontribusi}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 15790$$

$$I_{set} \leq 12832$$

$$\text{Tap} \leq \frac{12832}{600} \text{ In}$$

$$\text{Dipilih Tap} = 1.12 \text{ In (Range } 0.08\text{In} \text{ -: } 32\text{In, step } 0.01 \text{ In)}$$

$$I_{set} = 1.12 \times 600 = 672 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *time delay* 0,7 detik

☒ **Rele Relay5**

Manufacturer : ALSTOM

Model : P343

Curve Type : *Standard Inverse (IEC)*

CT Ratio : 1000 / 5

Isc min kontribusi : 4000 A

Isc max kontribusi : 5460 A

FLA generator STG-I-5A : 984.1 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA STG I-5A} \leq I_{set} \leq 1,3 \times \text{FLA STG I-5A}$$

$$1,05 \times 984.1 \leq I_{set} \leq 1,3 \times 984.1$$

$$1033.305 \leq I_{set} \leq 1279.33$$

$$\frac{1033.305}{1000} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{1279.33}{1000} \text{ In}$$

$$1.033\text{In} \leq \text{Tap} \leq 1.27 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 1 In

$$I_{set} = 1 \times 1000 = 1000 \text{ A}$$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,9 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc} \text{ max Bus 2HT}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Bus 2HT}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,9 \cdot \left[\left(\frac{5460}{1000} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,22$$

Dipilih $T_d = 0,25$

Instantaneous Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min kontribusi}}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 4000$$

$$I_{set} \leq 32080$$

$$\begin{aligned} \text{Tap} &\leq \frac{32080}{1000} I_n \\ &\leq 32.08 I_n \end{aligned}$$

Dipilih $\text{Tap} = 0.82 I_n$ (Range $0.08 I_n$ -: $32 I_n$, step $0.01 I_n$)

$$I_{set} = 0.82 \times 1000 = 820 \text{ A}$$

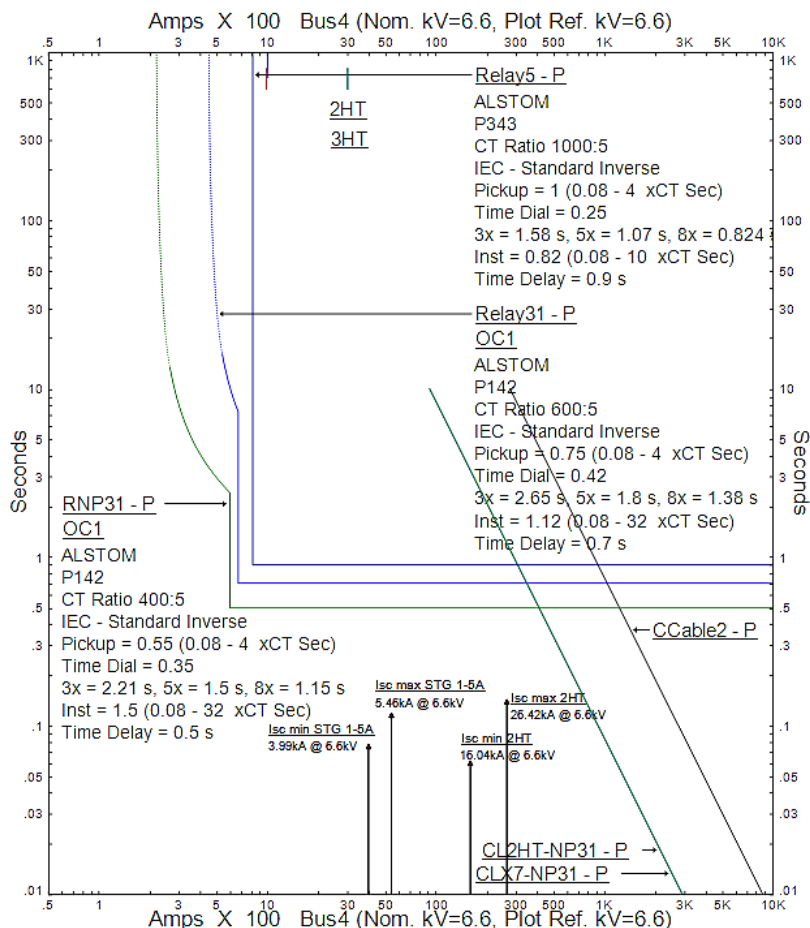
Time delay

Dipilih *time delay* 0,9 detik

Tabel 4.6 Data *resetting* rele tipikal 1

ID rele	CT Ratio	Setting	
RNP31	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,55
		<i>Time Dial</i>	0,35
		<i>Pickup Highset</i>	1,5
		<i>Time Delay</i>	0,5
Relay31	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,75
		<i>Time Dial</i>	0,42
		<i>Pickup Highset</i>	1,12
		<i>Time Delay</i>	0,7
Relay5	1000/5	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time Dial</i>	0,25
		<i>Pickup Highset</i>	0,82
		<i>Time Delay</i>	0,9

Dengan hasil perhitungan diatas, maka selanjutnya dilakukan *plotting* kurva arus dan waktu atau TCC pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada *Software* simulasi. Berikut adalah data *resetting* dan hasil plot pada tipikal 1.



Gambar 4.10 Gambar kurva TCC dan rangkaian *resetting* tipikal 1

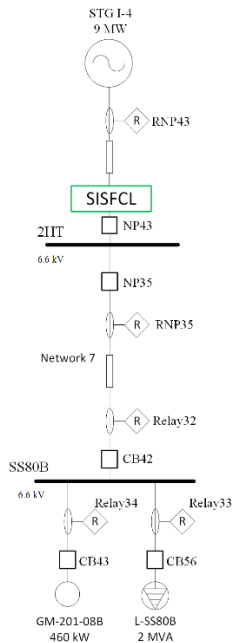
Setelah mengatur *plot* kurva setting rele pengaman, dilakukan evaluasi dengan memperhatikan urutan waktu kerja dari rele pengaman.

Pada Gambar 4.10 merupakan hasil dari *Sequence Of Operation Event (Sequence Viewer)* dari evaluasi yang dilakukan pada Tipikal 1.

Dari hasil *resetting* rele pengamanan pada tipikal 1 diatas didapatkan analisis sebagai berikut :

- Ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa pada daerah lump L-SSIVB, rele RNP31 bekerja untuk melindungi peralatan dengan *time delay* = 0,5 detik.
- Dari hasil laporan *sequence viewer*, dapat dilihat bahwa *setting* rele sudah tepat karena ketika terjadi hubung singkat maka rele RNP31 bekerja secara instan (R50) di waktu 0.5 detik serta *grading time* antar rele sudah sesuai yaitu sebesar 0.2 detik. Hal ini telah diperkenankan karena menurut standart IEEE 242 untuk perbedaan waktu minimum rele digital berbasis mikroprosesor (Δt) yaitu antara 0,2 – 0,3 detik.
- Kecepatan rele dalam merespon gangguan akan semakin baik.

4.5.4 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 2



Gambar 4.11 *Single line diagram* tipikal 2

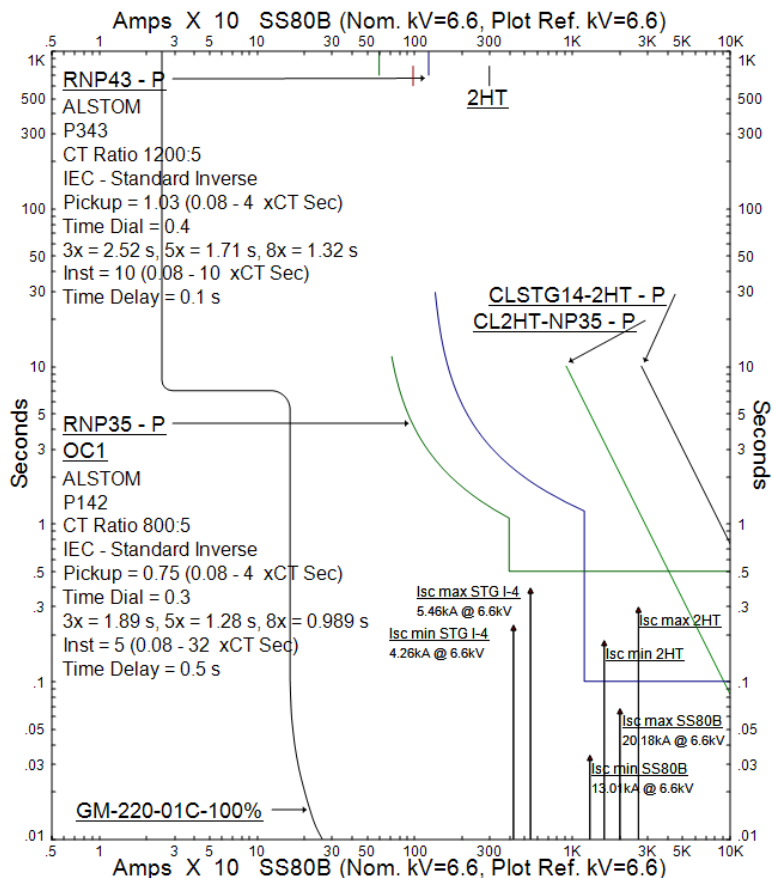
Sistem pengaman pada tipikal 2 terdiri dari Relay33, Relay34, Relay32, RNP35, dan RNP43. Koordinasi tipikal 2 mulai dari beban lump L-SS80B sampai generator STG I-4. Relay33 melindungi beban lump L-SS80B dan Relay34 melindungi motor GM-201-08B. Rele Relay32 dan rele RNP35 saluran kabel. Dan Rele RNP43 untuk melindungi generator STG I-4. *Single line diagram* tipikal 2 ditunjukkan pada Gambar dibawah ini. Data awal atau data eksisting koordinasi rele arus lebih tipikal 2 ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Data eksisting rele tipikal 2

ID rele	CT Ratio	Setting	
RNP35	800/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,75
		<i>Time Dial</i>	0,3
		<i>Pickup Highset</i>	5
		<i>Time Delay</i>	0,5
RNP43	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,03
		<i>Time Dial</i>	0,3
		<i>Pickup Highset</i>	10
		<i>Time Delay</i>	0,1

Sedangkan hasil plot kurva TCC bisa dilihat pada Gambar 4.12. Dari Gambar 4.12 bisa dianalisis kondisi eksisting dari tipikal 2 sebagai berikut :

- Sistem koordinasi proteksi sebelum adanya pemasangan SISFCL sudah baik, namun dengan adanya pemasangan SISFCL arus hubung singkat semakin kecil sehingga diperlukan koordinasi proteksi ulang.
- Belum adanya pemasangan Relay32, Relay33, Relay34 untuk mengamankan feeder menuju lump L-SS80B motor GM-201-08B.



Gambar 4.12 Gambar kurva TCC eksisting tipikal 2

Untuk perhitungan *resetting* ulang koordinasi rele proteksi tipikal 1 perhitunganya sebagai berikut :

☒ **Rele Relay33**

Manufacturer

: ALSTOM

Model

: P142

Curve Type

: *Standard Inverse (IEC)*

CT Ratio

: 200/ 1

Isc min kontribusi : 12850 A
 Isc max kontribusi : 18270 A
 FLA Lump L-SS80B : 175 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA STG I-5A} \leq I_{\text{set}} \leq 1,3 \times \text{FLA STG I-5A}$$

$$1,05 \times 175 \leq I_{\text{set}} \leq 1,3 \times 175$$

$$183.75 \leq I_{\text{set}} \leq 227.5$$

$$\frac{183.75}{200} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{227.5}{200} I_n$$

$$0,91 I_n \leq \text{Tap} \leq 1,13 I_n$$

Dipilih Tap = 1 I_n

$$I_{\text{set}} = 1 \times 200 = 200 \text{ A}$$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{1}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \cdot \left[\left(\frac{18270}{200} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,06$$

Dipilih $T_d = 0,6$

Instantaneous Pickup

$$I_{\text{set}} \leq 0,8 \times \text{Isc min kontribusi}$$

$$I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 12850$$

$$I_{\text{set}} \leq 10408$$

$$\text{Tap} \leq \frac{10408}{200} I_n$$

$$\leq 52.04 I_n$$

Dipilih Tap = 2,67 I_n (Range 0.08 I_n -: 32 I_n , step 0.01 I_n)

$$I_{\text{set}} = 2,67 \times 400 = 1068 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *time delay* 0,1 detik

☑ Rele Relay34

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P142
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse (IEC)</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100 / 1
Isc min kontribusi	: 12850 A
Isc max kontribusi	: 18270 A
FLA GM-201-08B	: 45.93 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA GM-201-08B} \leq I_{\text{set}} \leq 1,3 \times \text{GM} - 201 - 08\text{B}$$

$$1,05 \times 45,93 \leq I_{\text{set}} \leq 1,3 \times 45,93$$

$$48.22 \leq I_{\text{set}} \leq 59.70$$

$$\frac{48,22}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{59,7}{100} I_n$$

$$0,48 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,59 I_n$$

$$\text{Dipilih Tap} = 0,55 I_n$$

$$I_{\text{set}} = 0,55 \times 400 = 220 \text{ A}$$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,1 \cdot \left[\left(\frac{18270}{100} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,07$$

Dipilih Td = 1,2

Instantaneous Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min kontribusi}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 12850$$

$$I_{set} \leq 10408$$

$$\text{Tap} \leq \frac{10408}{100} \text{ In} \\ \leq 104,08 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 3,33 In (*Range* 0.08In -: 32In, step 0.01 In)

$$I_{set} = 3,33 \times 100 = 333 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *time delay* 0,1 detik

☒ **Rele Relay32**

Manufacturer : ALSTOM

Model : P143

Curve Type : *Standard Inverse (IEC)*

CT Ratio : 800 / 5

Isc min kontribusi : 15790 A

Isc max kontribusi : 23290 A

FLA Load : 220,93 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Load} \leq I_{set} \leq 1,3 \times \text{FLA Load}$$

$$1,05 \times 220,93 \leq I_{set} \leq 1,3 \times 220,93$$

$$231,97 \leq I_{set} \leq 287,209$$

$$\frac{231,97}{800} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{287,209}{800} \text{ In}$$

$$0,289 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 0,359 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,3 In

$$I_{set} = 0,3 \times 800 = 240 \text{ A}$$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Bus 2HT}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Bus 2HT}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,3 \cdot \left[\left(\frac{23290}{800} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,14$$

Dipilih $T_d = 0,75$

Instantaneous Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min kontribusi}}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 15790$$

$$I_{set} \leq 12832$$

$$Tap \leq \frac{12832}{800} \text{ In}$$

$$\leq 16,04 \text{ In}$$

Dipilih $Tap = 1,06$ (*Range* $0,08 \text{ In} - 32 \text{ In}$, step $0,01 \text{ In}$)

$$I_{set} = 1,06 \times 800 = 848 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *time delay* $0,3$ detik

☒ **Rele RNP35**

Manufacturer : ALSTOM

Model : P144

Curve Type : *Standard Inverse (IEC)*

CT Ratio : $800 / 5$

Isc min kontribusi : 15790 A

Isc max kontribusi : 23290 A

FLA Net 7 : 221 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Net 7} \leq I_{set} \leq 1,3 \times \text{FLA Net 7}$$

$$1,05 \times 221 \leq I_{set} \leq 1,3 \times 221$$

$$232,05 \leq I_{set} \leq 287,3$$

$$\frac{232.05}{800} In \leq \text{Tap} \leq \frac{287.3}{800} In$$

$$0,29In \leq \text{Tap} \leq 0,36 In$$

Dipilih Tap = 0,3 In

Iset = 0,3 x 800 = 240 A

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,5 \cdot \left[\left(\frac{23290}{240} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,34$$

Dipilih Td = 1

Instantaneous Pickup

$$I_{\text{set}} \leq 0,8 \times I_{\text{sc min kontribusi}}$$

$$I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 15790$$

$$I_{\text{set}} \leq 12832$$

$$\text{Tap} \leq \frac{12832}{800} In$$

$$\leq 16,04 In$$

Dipilih Tap = 1,65 In (Range 0.08In -: 32In, step 0.01 In)

$$I_{\text{set}} = 1,65 \times 800 = 1320 A$$

Time delay

Dipilih time delay 0,5 detik

☑ **Rele RNP43**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P1343
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse (IEC)</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1200 / 5
Isc min kontribusi	: 15790 A
Isc max kontribusi	: 23290 A
FLA Gen I-4	: 984,1 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Gen I-4} \leq I_{\text{set}} \leq 1,3 \times \text{FLA Gen I-4}$$

$$1,05 \times 984,1 \leq I_{\text{set}} \leq 1,3 \times 984,1$$

$$1033,305 \leq I_{\text{set}} \leq 1279,33$$

$$\frac{1033,305}{1200} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{1279,33}{1200} I_n$$

$$0,86 I_n \leq \text{Tap} \leq 1,06 I_n$$

$$\text{Dipilih Tap} = 0,9 I_n$$

$$I_{\text{set}} = 0,9 \times 1200 = 1080 \text{ A}$$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{1}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{\text{sc max Bus 2HT}}}{I_{\text{set}}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,7 \cdot \left[\left(\frac{23290}{1080} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,31$$

$$\text{Dipilih } T_d = 1$$

Instantaneous Pickup

$$I_{\text{set}} \leq 0,8 \times \text{Isc min kontribusi}$$

$$I_{\text{set}} \leq 0,8 \times 15790$$

$$I_{\text{set}} \leq 12832$$

$$\text{Tap} \leq \frac{12832}{1200} I_n$$

$$\leq 10,69 I_n$$

Dipilih Tap = 3 In (*Range* 0.08In - : 32In, step 0.01 In)
 $I_{\text{set}} = 3 \times 1200 = 3600 \text{ A}$

Time delay

Dipilih *time delay* 0,7 detik

Dengan hasil perhitungan diatas, maka selanjutnya dilakukan *plotting* kurva arus dan waktu atau TCC pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada *software*. Berikut adalah data *resetting* dan hasil plot pada tipikal 2.

Tabel 4.8 Data *resetting* rele tipikal 2

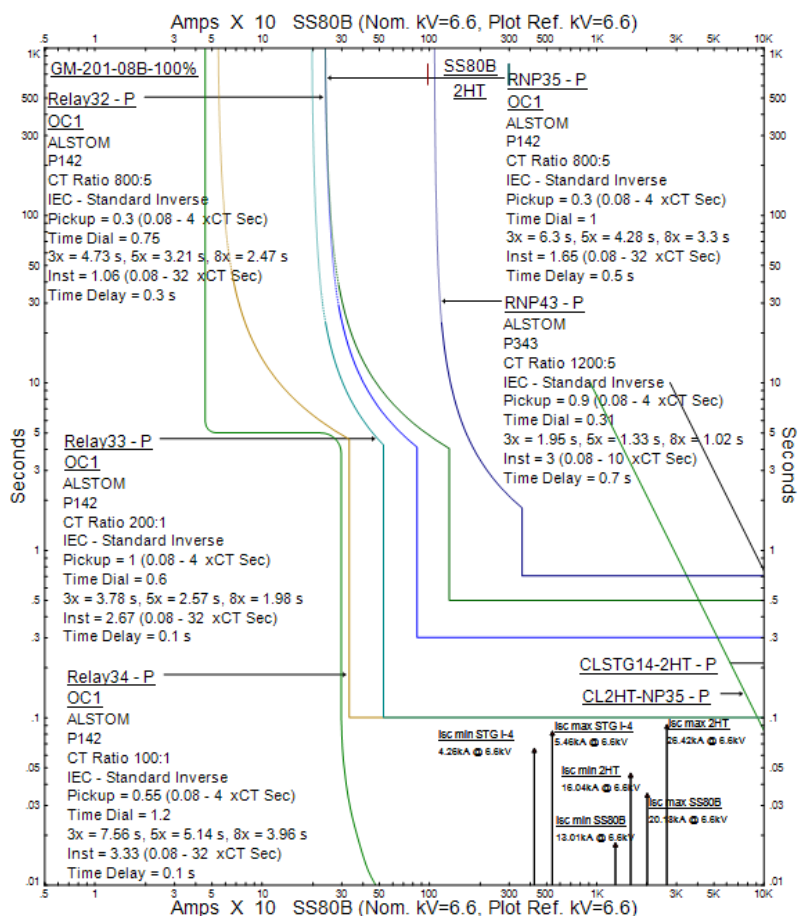
ID rele	CT Ratio	Setting	
Relay34	100/1	<i>Pickup Lowset</i>	0,55
		<i>Time Dial</i>	1,2
		<i>Pickup Highset</i>	3,33
		<i>Time Delay</i>	0,1
Relay33	200/1	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time Dial</i>	0,6
		<i>Pickup Highset</i>	2,67
		<i>Time Delay</i>	0,1
Relay32	800/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3
		<i>Time Dial</i>	0,75
		<i>Pickup Highset</i>	1,06
		<i>Time Delay</i>	0,3
RNP35	800/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,3
		<i>Time Dial</i>	0,35
		<i>Pickup Highset</i>	1,65
		<i>Time Delay</i>	0,5

Tabel 4.8 Data *resetting* rele tipikal 2 (Lanjutan)

RNP43	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,31
		<i>Pickup Highset</i>	3
		<i>Time Delay</i>	0,7

Dari hasil *resetting* rele pengaman pada tipikal 2 pada Gambar 4.13 dibawah didapatkan analisis sebagai berikut :

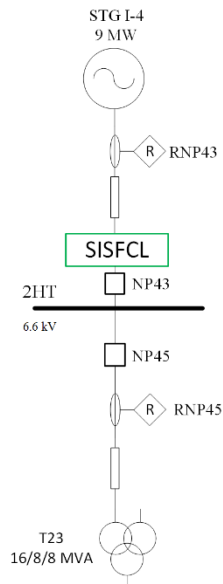
- Rele pengaman RNP43 dan Relay34 akan bekerja sesuai *grading* waktu yang ditentukan karena *time dial* yang sudah diperbaiki.
- Jika ada gangguan pada *lump* L-SS80B maka rele Relay33 akan melindungi *bus* 6,6 kV SS80B dengan *time delay* = 0,1 detik
- Jika ada gangguan pada motor GM-201-08B maka Relay34 akan melindungi *bus* 6,6 kV SS80B dengan *time delay* = 0,1 detik
- Rele RNP43 melindungi generator STG I-4 jika terjadi gangguan di *bus* 6,6 kV BUS-2HT.
- Kecepatan rele dalam merespon gangguan akan semakin baik.



Gambar 4.13 Gambar kurva TCC *resetting* tipikal 2

4.5.5 Analisis Koordinasi Rele Arus Lebih Tipikal 3

Sistem pengaman pada tipikal 3 terdiri dari rele RNP45 dan rele RNP43. Koordinasi tipikal 3 mulai dari *primer* trafo T23 sampai generator STG-4. Rele RNP45 melindungi sisi *primer trafo* T23 dan Rele RNP43 melindungi generator STG I-4. *Single line diagram* tipikal 3 ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Single line diagram tipikal 3

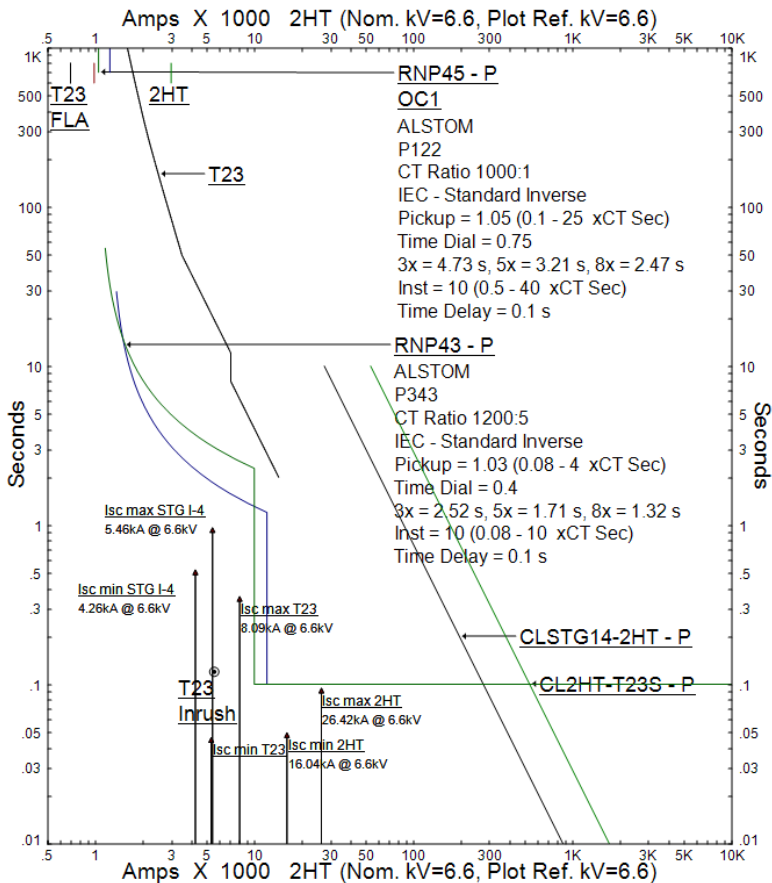
Data awal atau data eksisting koordinasi rele arus lebih tipikal 3 ditunjukkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Data eksisting rele tipikal 3

ID rele	CT Ratio	Setting	
RNP45	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,05
		<i>Time Dial</i>	0,75
		<i>Pickup Highset</i>	10
		<i>Time Delay</i>	0,1
RNP43	1000/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,03
		<i>Time Dial</i>	0,4
		<i>Pickup Highset</i>	10
		<i>Time Delay</i>	0,1

Sedangkan hasil plot kurva TCC bisa dilihat pada Gambar 4.14 dibawah ini. Dari Gambar 4.14 dan dari Tabel diatas bisa dianalisis kondisi eksisting dari tipikal 3 adalah sebagai berikut :

- Sistem koordinasi proteksi rele arus lebih pada tipikal 3 sebelum adanya pemasangan SISFCL sudah baik, namun masih perlu dilakukan koordinasi proteksi ulang pada rele rele di tipikal 3 agar kecepatan dan sensitifitas rele dalam bekerja semakin baik.



Gambar 4.14 Gambar kurva TCC eksisting tipikal 3

Untuk perhitungan *resetting* ulang koordinasi rele proteksi tipikal
3 perhitungan sebagai berikut :

☑ **Rele RNP45**

<i>Manufacturer</i>	: ALSTOM
<i>Model</i>	: P122
<i>Curve Type</i>	: <i>Standard Inverse (IEC)</i>
<i>CT Ratio</i>	: 1000 / 5
Isc min kontribusi	: 15790 A
Isc max kontribusi	: 23290 A
FLA Lump	: 699.8 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{Trafo T23} \leq \text{Iset} \leq 1,3 \times \text{FLA Trafo T23}$$

$$1,05 \times 699.8 \leq \text{Iset} \leq 1,3 \times 699.8$$

$$734.79 \leq \text{Iset} \leq 909.74$$

$$\frac{734.79}{1000} \text{In} \leq \text{Tap} \leq \frac{909.74}{1000} \text{In}$$

$$0,734\text{In} \leq \text{Tap} \leq 0,909 \text{In}$$

Dipilih Tap = 0,85 In

$$\text{Iset} = 0,85 \times 1000 = 850 \text{ A}$$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{1}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \text{Td}$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{\text{Isc max Bus 2HT}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times \text{Td}$$

$$\text{Td} = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{\text{Isc max Bus 2HT}}{\text{Iset}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{Td} = \frac{0,3 \cdot \left[\left(\frac{23290}{850} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$\text{Td} = 0,146$$

Dipilih Td = 0,15

Instantaneous Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc} \text{ min kontribusi}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 15790$$

$$I_{set} \leq 12832$$

$$\text{Tap} \leq \frac{12832}{1000} \text{ In} \\ \leq 12.832 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 2,32 In (*Range* 0.08In -: 32In, step 0.01 In)

$$I_{set} = 2,32 \times 1000 = 2320 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih *time delay* 0,5 detik

☒ **Rele RNP43**

Manufacturer : ALSTOM

Model : P343

Curve Type : *Standard Inverse (IEC)*

CT Ratio : 1200 / 5

Isc min kontribusi : 15790 A

Isc max kontribusi : 23290 A

FLA Lump : 984.1 A

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA STG I-5A} \leq I_{set} \leq 1,3 \times \text{FLA STG I-5A}$$

$$1,05 \times 984.1 \leq I_{set} \leq 1,3 \times 984.1$$

$$1033.305 \leq I_{set} \leq 1279.33$$

$$\frac{1033.305}{1200} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{1279.33}{1200} \text{ In}$$

$$0.86 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 1.06 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,9 In

$$I_{set} = 0,9 \times 1200 = 1080 \text{ A}$$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Bus 2HT}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Bus 2HT}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,7 \cdot \left[\left(\frac{23290}{1080} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,31$$

Dipilih $T_d = 0,35$

Time Dial

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{1}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

$$t = \frac{0,14}{\left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Bus 2HT}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]} \times T_d$$

$$T_d = \frac{t \cdot \left[\left(\frac{I_{sc \text{ max Bus 2HT}}}{I_{set}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = \frac{0,7 \cdot \left[\left(\frac{23290}{1080} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14}$$

$$T_d = 0,31$$

Dipilih $T_d = 0,35$

Instantaneous Pickup

$$I_{set} \leq 0,8 \times I_{sc \text{ min kontribusi}}$$

$$I_{set} \leq 0,8 \times 15790$$

$$I_{set} \leq 12832$$

$$T_{ap} \leq \frac{12832}{400} \text{ In}$$

$$\leq 32,08 \text{ In}$$

Dipilih $T_{ap} = 3 \text{ In}$ (Range 0.08In -: 32In, step 0.01 In)

$$I_{set} = 3 \times 400 = 1200 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih time delay 0,7 detik

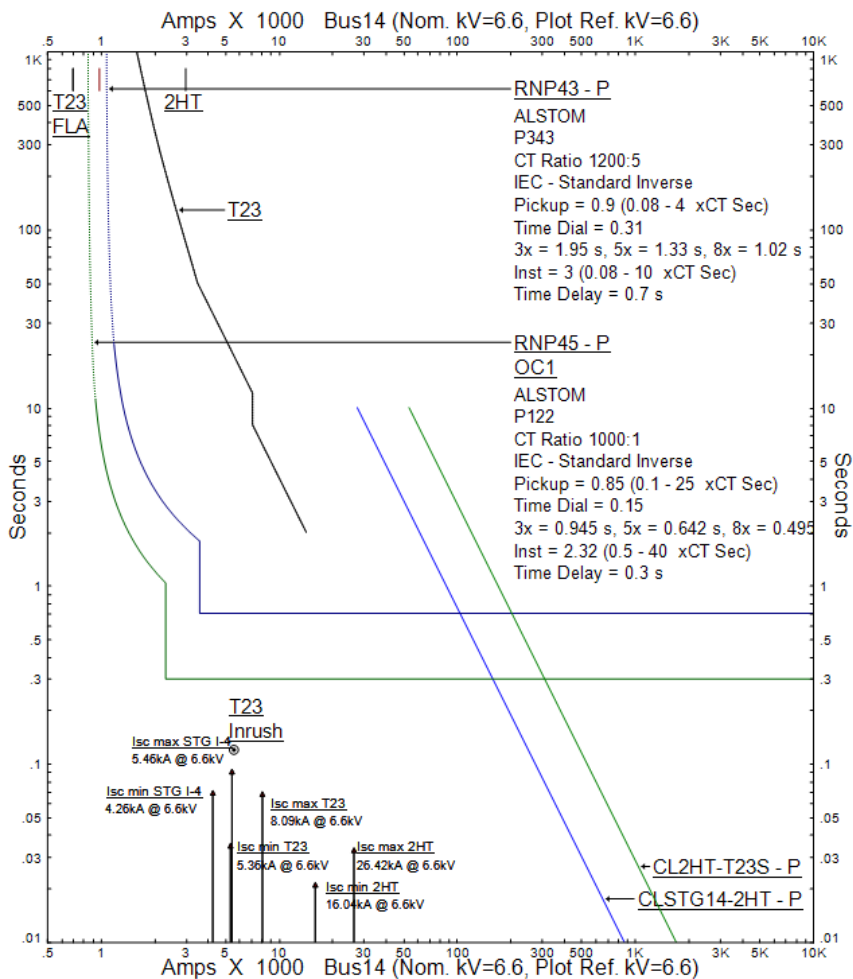
Dengan hasil perhitungan diatas, maka selanjutnya dilakukan *plotting* kurva arus dan waktu atau TCC pada *Star-Protective Device Coordination* yang terdapat pada *software*. Berikut adalah data *resetting* dan hasil plot pada tipikal 3.

Tabel 4.10 Data *resetting* rele tipikal 3

ID rele	CT Ratio	Setting	
RNP45	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,85
		<i>Time Dial</i>	0,15
		<i>Pickup Highset</i>	2,32
		<i>Time Delay</i>	0,3
RNP43	1000/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,31
		<i>Pickup Highset</i>	3
		<i>Time Delay</i>	0,7

Dari hasil *resetting* rele pengaman pada tipikal 3 pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.15 dibawah didapatkan analisis sebagai berikut :

- Dengan memperkecil *time dial* maka waktu trip CB juga semakin cepat dan sesuai dengan *grading* waktu yang diinginkan.
- Kecepatan rele dalam merespon gangguan akan semakin baik.



Gambar 4.15 Gambar kurva TCC *resetting* tipikal 3

4.6 Data Perbandingan Sebelum dan Sesudah Pemasangan SISFCL

Dari hasil analisis yang dilakukan sebelumnya, berikut data perbandingan arus hubung singkat sebelum dan sesudah dipasang SISFCL.

Tabel 4.11 Perbandingan arus kontribusi hubung singkat maksimum 3 fasa kondisi ½ cycle pada bus 2HT tanpa dan dengan SISFCL

No	<i>Bus 2HT</i>				
	Arus kontribusi dari ke bus 2HT	Tanpa SISFCL		Dengan SISFCL	
		Isc Maks <i>symmetri</i> (kA)	Isc Maks <i>asymetri peak</i> (kA)	Isc Maks <i>symmetri</i> (kA)	Isc Maks <i>asymetri peak</i> (kA)
1	STG I-4	0,5	1,37	0,5	1,37
2	BUS 3HT	1,32	3,56	1,32	3,56
3	Trafo T12	0,63	1,69	0,63	1,69
4	Trafo T23	1,31	3,54	1,31	3,54
5	Lump Total	2,1	5,67	2,1	5,67
Total		36.17	97,19	19.572	52,618

Untuk data perbandingan *setting* rele sebelum dan sesudah dipasang SISFCL untuk tipikal 1 yaitu :

Tabel 4.12 Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 1

ID Rele	CT Ratio	<i>Setting</i>			
		<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>	
RNP31	400/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,08	<i>Pickup Lowset</i>	0.55
		<i>Time Dial</i>	0,35	<i>Time Dial</i>	0,35
		<i>Pickup Highset</i>	8	<i>Pickup Highset</i>	1.5
		<i>Time Delay</i>	0,5	<i>Time Delay</i>	0.5
Relay31	600/5	<i>Pickup Lowset</i>	-	<i>Pickup Lowset</i>	0.75
		<i>Time Dial</i>	-	<i>Time Dial</i>	0,42
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	1.12
		<i>Time Delay</i>	-	<i>Time Delay</i>	0.7

Tabel 4.12 Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 1 (Lanjutan)

Relay5	1000/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,03	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time Dial</i>	0,4	<i>Time Dial</i>	0,25
		<i>Pickup Highset</i>	10	<i>Pickup Highset</i>	0.82
		<i>Time Delay</i>	0,1	<i>Time Delay</i>	0.9

Untuk data perbandingan *setting* rele sebelum dan sesudah dipasang SISFCL untuk tipikal 2 yaitu :

Tabel 4.13 Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 2

ID Rele	CT Ratio	<i>Setting</i>			
		<i>Existing</i>		<i>Resetting</i>	
Relay34	100/1	<i>Pickup Lowset</i>	-	<i>Pickup Lowset</i>	0,55
		<i>Time Dial</i>	-	<i>Time Dial</i>	1,2
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	3,33
		<i>Time Delay</i>	-	<i>Time Delay</i>	0,1
Relay33	200/1	<i>Pickup Lowset</i>	-	<i>Pickup Lowset</i>	1
		<i>Time Dial</i>	-	<i>Time Dial</i>	0,6
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	2,67
		<i>Time Delay</i>	-	<i>Time Delay</i>	0,1
Relay32	800/5	<i>Pickup Lowset</i>	-	<i>Pickup Lowset</i>	0,3
		<i>Time Dial</i>	-	<i>Time Dial</i>	0,75
		<i>Pickup Highset</i>	-	<i>Pickup Highset</i>	1,06
		<i>Time Delay</i>	-	<i>Time Delay</i>	0,3
RNP35	800/5	<i>Pickup Lowset</i>	0,75	<i>Pickup Lowset</i>	0,3
		<i>Time Dial</i>	0,3	<i>Time Dial</i>	0,35
		<i>Pickup Highset</i>	5	<i>Pickup Highset</i>	1,65
		<i>Time Delay</i>	0,5	<i>Time Delay</i>	0,5
RNP43	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,03	<i>Pickup Lowset</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,3	<i>Time Dial</i>	0,31
		<i>Pickup Highset</i>	10	<i>Pickup Highset</i>	3
		<i>Time Delay</i>	0,1	<i>Time Delay</i>	0,7

Untuk data perbandingan *setting* rele sebelum dan sesudah dipasang SISFCL untuk tipikal 3 yaitu :

Tabel 4.14 Perbandingan setting rele arus lebih sebelum dan sesudah pemasangan SISFCL pada koordinasi tipikal 3

ID Rele	CT Ratio	Setting			
		Existing		Resetting	
RNP45	1200/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,05	<i>Pickup Lowset</i>	0,85
		<i>Time Dial</i>	0,75	<i>Time Dial</i>	0,15
		<i>Pickup Highset</i>	10	<i>Pickup Highset</i>	2,32
		<i>Time Delay</i>	0,1	<i>Time Delay</i>	0,3
RNP43	1000/5	<i>Pickup Lowset</i>	1,03	<i>Pickup Lowset</i>	0,9
		<i>Time Dial</i>	0,4	<i>Time Dial</i>	0,31
		<i>Pickup Highset</i>	10	<i>Pickup Highset</i>	3
		<i>Time Delay</i>	0,1	<i>Time Delay</i>	0,7

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis implementasi SISFCL (*Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter*) pada jaringan distribusi PT. PERTAMINA RU V, maka bisa diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisis hubung singkat maksimum 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle pada PT. PERTAMINA RU V menunjukkan bahwa bus 2HT yang memiliki *rating* nilai *bracing peak* sebesar 78.75 kA tidak mampu menahan arus hubung singkat maksimum 3 fasa $\frac{1}{2}$ cycle sebesar 84.72 kA *peak* dan bus tersebut dalam keadaan *critical* serta membutuhkan pembatas arus yaitu SISFCL.
2. Pemasangan SISFCL biasanya dipasang pada *feeder* yang melewati arus kontribusi terbesar tetapi untuk pemasangan SISFCL di Kilang I dipasang pada *incoming* dari generator STG I-4 menuju bus 2HT. Pertimbangan SISFCL tidak ditempatkan pada feeder yang menuju trafo T23 dikarenakan jika CB NP45 trip atau tidak mendapatkan daya yang disebabkan oleh *load shedding* atau gangguan hubung singkat maka penempatan tersebut kurang ideal sehingga SISFCL akan dipasang pada *incoming* dari generator STG I-4 yang terhubung ke 6,6 kV BUS-2HT.
3. Pemasangan SISFCL dapat mereduksi arus gangguan pada bus 2HT yang semula 84.72 kA *peak* menjadi 73.179 kA *peak*. Sehingga peralatan pada bus 2HT aman. Dengan pemasangan SISFCL yang mereduksi arus gangguan hubung singkat akan berpengaruh pada koordinasi proteksi rele arus lebih, sehingga perlu dilakukan *setting* ulang untuk koordinasi proteksi rele arus lebih.
4. SISFCL bekerja mereduksi arus gangguan memanfaatkan keadaan saturasi inti besi dengan nilai impedansi yang tinggi. Saat normal, nilai impedansi SISFCL kecil dan mendekati nol, kuat medan (H) tinggi. Saat gangguan, kuat medan (H) akan turun dan nilai impedansi akan naik untuk mereduksi arus gangguan. SISFCL mendeteksi adanya gangguan hubung singkat saat 0,1 detik, mulai mereduksi arus gangguan saat 0,5 detik dan kembali ke keadaan *recovery* saat 0.8 detik.

5. Untuk koordinasi proteksi rele arus lebih, perlu di *setting* ulang untuk rele pada tipikal 1,2 dan 3 karena pengurangan arus gangguan oleh SISFCL berdampak pada *setting* rele di tipikal tersebut, terutama nilai *pickup highset*. Tetapi untuk keseluruhan tipikal tetap di *setting* ulang untuk memastikan rele bekerja sesuai dengan yang diinginkan dengan memperkecil *time dial*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil akhir analisis implementasi SISFCL (*Saturated Iron – Core Superconducting Fault Current Limiter*) pada jaring distribusi PT. PERTAMINA RU V, ada beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk menjadi masukan kedepannya adalah penggunaan SISFCL yang menjadi solusi terbaik untuk mengatasi besarnya arus gangguan hubung singkat akibat penambahan pembangkit ataupun beban, dibandingkan dengan pembatas arus konvensional lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

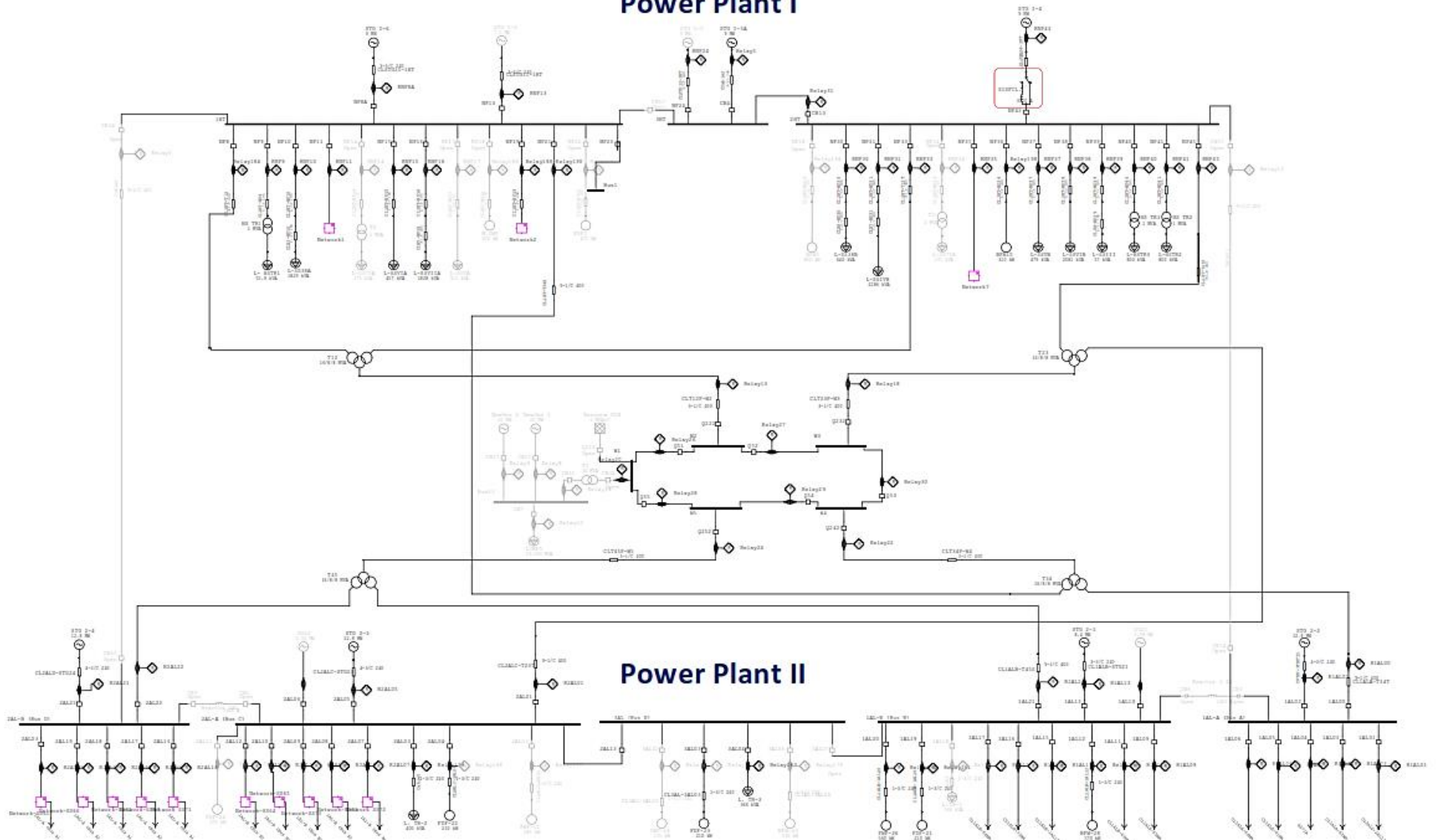
1. IEEE Std 551TM – 2006, “*IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems*”, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, Ch. 2, 2006.
2. Sulasno, “*Analisa Sistem Tenaga Listrik*”, Satya Wacana, Semarang, 1993
3. Stevenson, Jr., William D, “*Analisis Sistem Tenaga Listrik*”, Diterjemahkan oleh Ir. Kamal Idris, Penerbit Erlangga, Jakarta, Edisi Keempat, 1983.
4. Wahyudi, “*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*”, Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya.
5. IEEE std 242-2001, “*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System*”, The Institute of Electrical and Electronic Engineering, Inc, New York, Ch 15, 2001
6. Niu, Xiaoye, et al, “*Structure and Performance Characteristics of Saturated Iron - core Superconducting Fault Current Limiter*”, Journal of International Council on Electrical Engineering, 4:2, 146-150, 2014.
7. Li Bin, “*Application Studies on the Active SISFCL in Electric Transmission System and its Impact on Line Distance Protection*”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 2013.
8. Xin Yin, “*Manufacturing and Test of a 35 kV/90MVA Saturated Iron-Core Type Superconductive Fault Current Limiter for Live-Grid Operation*”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 19, No. 3, June 2009.
9. Wang Haizhen, “*Saturated Iron Core Superconducting Fault Current Limiter*”, International Conference on Electric Power Equipment (IEEE) – Switching Technology – Xi’an – China, 1st 2011.
10. Hong Hui, “*DC Magnetization System for a 35 kV/90 MVA Superconducting Saturated Iron-Core Fault Current Limiter*”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 19, No. 3, June 2009.

11. Li Bin, “*Overcurrent Protection Coordination in a Power Distribution Network With the Active Superconductive Fault Current Limiter*”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 24, No. 5, Oktober 2014.
12. Deny Cahyo Nugroho, “*Studi Koordinasi Proteksi Arus Lebih Akibat Pemasangan SISFCL (Saturated Iron-Core Superconducting Fault Current Limiter) Di Pabrik III PT. Petrokimia Gresik*”, Tugas Akhir ITS, juli 2015.

LAMPIRAN

SINGLE LINE DIAGRAM PT. PERTAMINA RU V BALIKPAPAN

Power Plant I



BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Nur Fattah dilahirkan di Balikpapan, 29 Desember 1992. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara. Penulis memulai pendidikan tahun 1999 di SDN 031 Balikpapan (lulus tahun 2005) dan melanjutkan pendidikan di SMPN 12 Balikpapan (lulus tahun 2008) dan SMAN 2 Balikpapan (lulus tahun 2011). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Diploma 3 Elektronika dan Instrumentasi, Universitas Gadjah Mada.

Selama kuliah D3 penulis aktif berorganisasi dan pernah menjadi Ketua Robotika KMDEI UGM. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi sarjana melalui program lintas jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Elektro (FTI-ITS) mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi di email : mnfattah29@gmail.com. atau <http://intip.in/MNfattah>

Halaman ini sengaja dikosongkan